

10/529004

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

JC17 Rec'd PCT/PTO 24 MAR 2005

Applicant: YASUO NISHI ET AL.)
For: LIQUID JETTING APPARATUS)

CLAIM FOR PRIORITY

Mail Stop PCT
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Dear Sir:

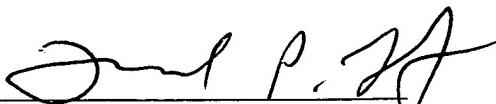
Applicant hereby claims the benefits of the filing date of September 24, 2002 to Japanese Application No. 2002-278232 and of August 13, 2003 to Japanese Application No. 2003-293055 under provisions of 35 U.S.C. 119 and the International Convention for the protection of Industrial Property.

If any fees are due with regard to this claim for priority, please charge them to Deposit Account No. 06-1130 maintained by Applicant's attorneys.

Respectfully submitted,

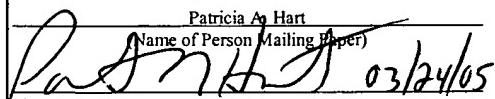
CANTOR COLBURN LLP

By



Daniel P. Lent

Registration No. 44,867

I certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service as Express mail in an envelope addressed to: Mail Stop PCT, Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450 on	
March 24, 2005 (Date of Deposit)	
Patricia A. Hart (Name of Person Mailing Paper)	
 Signature	Date 03/24/05
EV607365951US Express Mail Label	

Date: March 24, 2005
Address: 55 Griffin Road South, Bloomfield, Connecticut 06002
Telephone: (860) 286-2929
Customer No. 023413

CERTIFICATE OF MAILING BY "EXPRESS MAIL" (37 CFR 1.10)

Applicant(s): Yasuo Nishi et al.

10/529004

K0Y-0047

JC17 Rec'd PCT/PTO 24 MAR 2005

Examiner

Customer No.

Group Art Unit

23413

Application No.

Filing Date

Invention: LIQUID JETTING APPARATUS

I hereby certify that the following correspondence:

Transmittal Letter to the U.S. Designated/Elected Office Concerning a Submission Under 35 U.S.C. 371*(Identify type of correspondence)*

is being deposited with the United States Postal Service "Express Mail Post Office to Addressee" service under 37 CFR 1.10 in an envelope addressed to: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450 on

March 24, 2005*(Date)***Patricia A. Hart***(Typed or Printed Name of Person Mailing Correspondence)**(Signature of Person Mailing Correspondence)***EV607365951US***("Express Mail" Mailing Label Number)***Note: Each paper must have its own certificate of mailing.**

PCT/JP 03/12100

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

22.09.03

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2002年 9月24日
Date of Application:

RCD 06 NOV 2003
WIPO PCT

出願番号 特願 2002-278232
Application Number:
[ST. 10/C]: [JP 2002-278232]

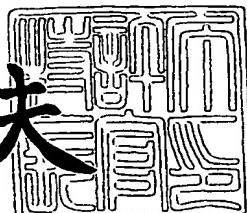
出願人 コニカミノルタホールディングス株式会社
Applicant(s):
シャープ株式会社
独立行政法人産業技術総合研究所

PRIORITY
DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

2003年10月23日

特許長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



【書類名】 特許願
【整理番号】 DKY00796
【提出日】 平成14年 9月24日
【あて先】 特許庁長官 殿
【国際特許分類】 B41J 2/01
【発明者】
【住所又は居所】 東京都日野市さくら町1番地 コニカ株式会社内
【氏名】 西 泰男
【発明者】
【住所又は居所】 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シャープ株式会社内
【氏名】 樋口 韶
【発明者】
【住所又は居所】 茨城県つくば市東1-1-1 独立行政法人産業技術総合研究所つくばセンター内
【氏名】 村田 和広
【発明者】
【住所又は居所】 茨城県つくば市東1-1-1 独立行政法人産業技術総合研究所つくばセンター内
【氏名】 横山 浩
【特許出願人】
【持分】 034/100
【識別番号】 000001270
【氏名又は名称】 コニカ株式会社
【特許出願人】
【持分】 033/100
【識別番号】 000005049
【氏名又は名称】 シャープ株式会社

【特許出願人】**【持分】** 033/100**【識別番号】** 301021533**【氏名又は名称】** 独立行政法人 産業技術総合研究所**【代理人】****【識別番号】** 100090033**【弁理士】****【氏名又は名称】** 荒船 博司**【手数料の表示】****【予納台帳番号】** 027188**【納付金額】** 21,000円**【提出物件の目録】****【物件名】** 明細書 1**【物件名】** 図面 1**【物件名】** 要約書 1**【プルーフの要否】** 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 液体吐出装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】 帯電した溶液の液滴を吐出する液体吐出装置であつて、

先端部から前記液滴を吐出する内部直径が $30[\mu\text{m}]$ 以下のノズルを有する液体吐出ヘッドと、前記ノズル内に溶液を供給する溶液供給手段と、前記ノズル内の溶液に吐出電圧を印加する吐出電圧印加手段と、を備え、

前記吐出電圧印加手段の吐出電極を前記ノズルの後端部側に設け、

前記ノズルの内部流路長をノズル先端部におけるノズルの内部直径の少なくとも10倍以上に設定したことを特徴とする液体吐出装置。

【請求項2】 前記ノズルの内部流路長をノズル先端部におけるノズルの内部直径の少なくとも50倍以上に設定したことを特徴とする請求項1記載の液体吐出装置。

【請求項3】 前記ノズルの内部流路長をノズル先端部におけるノズルの内部直径の少なくとも100倍以上に設定したことを特徴とする請求項1記載の液体吐出装置。

【請求項4】 前記ノズルの先端部でのノズルの壁面厚さをノズル先端部におけるノズルの内部直径と等しい長さ以下としたことを特徴とする請求項1, 2又は3記載の液体吐出装置。

【請求項5】 前記ノズルの先端部でのノズルの壁面厚さをノズル先端部におけるノズルの内部直径と等しい長さの $1/4$ 以下としたことを特徴とする請求項4記載の液体吐出装置。

【請求項6】 前記ノズルの表面の少なくとも先端部を撥水処理したことを特徴とする請求項1から5のいずれかに記載の液体吐出装置。

【請求項7】 前記ノズルの先端面をノズル内流路の中心線に対する傾斜面としたことを特徴とする請求項1から6のいずれかに記載の液体吐出装置。

【請求項8】 前記ノズルの先端面の傾斜角度を、（当該傾斜面の法線が前記ノズル内流路の中心線と平行となる状態を90度とした場合に）30～45度の範囲としたことを特徴とする請求項7記載の液体吐出装置。

【請求項9】 前記ノズルの内部直径が20[μm]未満であることを特徴とする請求項1から8いずれかに記載の液体吐出装置。

【請求項10】 前記ノズルの内部直径が8[μm]以下であることを特徴とする請求項9記載の液体吐出装置。

【請求項11】 前記ノズルの内部直径が4[μm]以下であることを特徴とする請求項10記載の液体吐出装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、基材に液体を吐出する液体吐出装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来のインクジェット記録方式としては、圧電素子の振動によりインク流路を変形させることによりインク液滴を吐出させるピエゾ方式、インク流路ないに発熱体を設け、その発熱体を発熱させて気泡を発生させ、気泡によるインク流路内の圧力変化に応じてインク液滴を吐出させるサーマル方式、インク流路内のインクを帯電させてインクの静電吸引力によりインク液滴を吐出させる静電吸引方式が知られている。

【0003】

【特許文献1】

特開平8-238774号公報

【特許文献2】

特開2000-127410号公報

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記各従来例には以下の問題あった。

(1) 微小液滴形成の安定性

ノズル径が大きいため、ノズルから吐出される液滴の形状が安定しない。

(2) 微小液滴の着弾精度の不足

ノズルから吐出した液滴に付与される運動エネルギーは、液滴半径の3乗に比例して小さくなる。このため、微小液滴は空気抵抗に耐えるほどの十分な運動エネルギーを確保できず、空気対流などによる擾乱を受け、正確な着弾が期待出来ない。さらに、液滴が微細になるほど、表面張力の効果が増すために、液滴の蒸気圧が高くなり蒸発量が激しくなる。このため微細液滴は、飛翔中の著しい質量の消失を招き、着弾時に液滴の形態を保つことすら難しいという事情があった。

以上のように液滴の微細化と高精度化は、相反する課題であり、両方を同時に実現することは困難であった。

この着弾位置精度の悪さは、印字画質を低下させるのみならず、例えばインクジェット技術により導電性インクを用いて回路の配線パターンを描画する際などには特に大きな問題となる。すなわち、位置精度の悪さは所望の太さの配線が描画出来ないばかりか、断線やショートを生ずることさえあり得る。

(3) 高印加電圧

従来の静電吸引方式の原理では、メニスカスの中心に電荷を集中させてメニスカスの隆起を発生する。この隆起したテーラーコーン先端部の曲率半径は、電荷の集中量により定まり、集中した電荷量と電界強度による静電力がそのときのメニスカスの表面張力より勝った時に液滴の分離が始まる。

メニスカスの最大電荷量は、インクの物性値とメニスカス曲率半径により定まるため、最小の液滴のサイズはインクの物性値（特に表面張力）とメニスカス部に形成される電界強度により定まる。

一般的に、液体の表面張力は純粋な溶媒よりも溶剤を含んだ方が表面張力は低くなる傾向があり、実際のインクにおいても種々の溶剤を含んでいるため、表面張力を高くすることは難しい。このため、インクの表面張力を一定と考え、電界強度を高くすることにより液滴サイズを小さくする方法が採られていた。

従って、上記の特許文献1、2に開示されたインクジェット装置では、両者とも吐出原理として、吐出液滴の投影面積よりもはるかに広い面積のメニスカス領域に強い電界強度のフィールドを形成することにより該メニスカスの中心に電荷を集中させ、該集中した電荷と形成している電界強度からなる静電力により吐出を行うため、2000[V]に近い非常に高い電圧を印加する必要があり、駆動制御が難

しいと共に、インクジェット装置を操作するうえでの安全性の面からも問題があった。

(4) 吐出応答性

上記の特許文献1，2に開示されたインクジェット装置では、両者とも吐出原理として、吐出液滴の投影面積よりもはるかに広い面積のメニスカス領域に強い電界強度のフィールドを形成することにより該メニスカスの中心に電荷を集中させ、該集中した電荷と形成している電界強度からなる静電力により吐出を行うため、メニスカス部の中心に電荷が移動するための電荷の移動時間が吐出応答性に影響し、印字速度の向上において問題となっていた。

【0005】

そこで、微細液滴を吐出可能な液体吐出装置を提供することを第一の目的とする。また同時に、安定した液滴を吐出することが可能な液体吐出装置を提供することを第二の目的とする。さらに、微小液滴を吐出可能で、且つ着弾精度のより液体吐出装置の提供を第三の目的とする。さらに、印加電圧を低減することが可能な液体吐出装置を提供することを第四の目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】

請求項1記載の発明は、帯電した溶液の液滴を吐出する液体吐出装置であって、先端部から液滴を吐出する内部直径が $30[\mu\text{m}]$ 以下のノズルを有する液体吐出ヘッドと、ノズル内に溶液を供給する溶液供給手段と、ノズル内の溶液に吐出電圧を印加する吐出電圧印加手段と、を備え、吐出電圧印加手段の吐出電極をノズルの後端部側に設け、ノズルの内部流路長をノズル先端部におけるノズルの内部直径の少なくとも10倍以上に設定した、という構成を探っている。

以下、ノズル径という場合にはノズルの内部直径を示すものとする。

【0007】

上述の構成において、「基材」とは吐出された溶液の液滴の着弾を受ける対象物をいい材質的には特に限定されない。従って、例えば、上記構成をインクジェットプリンタに適応した場合には、用紙やシート等の記録媒体が基材に相当し、導電性ペーストを用いて回路の形成を行う場合には回路が形成されるべきベース

が基材に相当することとなる。

【0008】

上記各構成にあっては、ノズルの先端部に液滴の受け面が対向するように、ノズル又は基材が配置される。これら相互の位置関係を実現するための配置作業は、ノズルの移動又は基材の移動のいずれにより行っても良い。

そして、溶液供給手段により液体吐出ヘッド内に溶液が供給される。ノズル内の溶液は吐出を行うために帯電した状態にあることが要求される。溶液の帯電に必要な電圧印加は凸状メニスカスを形成する駆動電圧よりはるかに高いため、帯電専用の電極を設けることが好ましい。

そして、ノズル内において溶液が帶電することにより電界が集中し、溶液はノズル先端部側への静電力を受け、ノズル先端部において溶液が盛り上がった状態（凸状メニスカス）が形成される。そして、溶液の静電力が凸状メニスカスにおける表面張力を上回ることにより、凸状メニスカスの突出先端部から溶液の液滴が基材の受け面に対して垂直方向に飛翔し、基材の受け面上には溶液のドットが形成される。

【0009】

上記構成にあっては、ノズルを従来にない超微細径としてノズル先端部に電界を集中させて電界強度を高めることに特徴がある。ノズルの小径化に関しては後の記載により詳述する。かかる場合、ノズルの先端部に対向する対向電極がなくとも液滴の吐出を行うことが可能である。例えば、対向電極が存在しない状態で、ノズル先端部に対向させて基材を配置した場合、当該基材が導体である場合には、基材の受け面を規準としてノズル先端部の面對称となる位置に逆極性の鏡像電荷が誘導され、基材が絶縁体である場合には、基材の受け面を規準として基材の誘電率により定まる対称位置に逆極性の映像電荷が誘導される。そして、ノズル先端部に誘起される電荷と鏡像電荷又は映像電荷間での静電力により液滴の飛翔が行われる。

但し、本発明の構成は、対向電極を不要とすることを可能とするが、対向電極を併用しても構わない。対向電極を併用することで、ノズル一対向電極間での電界による静電力を飛翔電極の誘導のために併用することも可能となるし、対向電

極を接地すれば、帯電した液滴の電荷を対向電極を介して逃がすことができ、電荷の蓄積を低減する効果も得られるので、むしろ併用することが望ましい構成といえる。

【0010】

さらに、上記構成では、電界の集中効果を得るためにノズル径の超微細化を図っているが、さらにノズル先端部において溶液が強力な電界強度を得るために、帯電状態となる液滴が細長くなること望ましい。そのためにはノズルの内部流路長を長く設定すれば良い。かかる観点からノズルの内部流路長と応答性の関係を比較試験により考察した結果、ノズルの内部流路長をノズルの内部半径の10倍としたところで応答性を向上させる結果が得られた。即ち、ノズルの内部流路長をノズルの内部半径の10倍以上とすることで微細ノズルにおける吐出の応答性の向上を図ることができる。

なお、ノズル内流路の流路長はより長いことが望ましいが、その製造の困難性や目詰まりによる吐出の安定性の低下等を考慮した値（内径に対する倍率）を選択することが望ましい。一例として、150倍程度を上限とする。

ここで、ノズルの内部流路長は、ノズルプレート上にノズルが設けられている液体吐出ヘッドの場合には、ノズルプレート面からノズル先端までの距離をいう。

【0011】

また、吐出電極はノズルの後端部側に設けることが好ましい。つまり、吐出電極をノズル内流路の上流端部近傍に設けることにより、溶液の吐出を行う先端部から吐出電極を遠ざけることができ、電位の変化が絶えず行われる吐出電極による外乱の影響を低減し、安定した溶液の吐出が行われる。

【0012】

請求項2記載の発明は、請求項1記載の発明と同様の構成を備えると共に、ノズルの内部流路長をノズル先端部におけるノズルの内部直径の少なくとも50倍以上に設定にする、という構成を探っている。

上記構成では、請求項1記載の発明と同様の動作が行われると共に、ノズルの内部流路長を内部直径の少なくとも50倍以上とすることで応答性の向上を図ると

共により効果的に電界の集中を図ることで、より微小な液滴の吐出を可能とする結果が得られた。

【0013】

請求項3記載の発明は、請求項1記載の発明と同様の構成を備えると共に、ノズルの内部流路長をノズル先端部におけるノズルの内部直径の少なくとも100倍以上に設定にする、という構成を探っている。

上記構成では、請求項1記載の発明と同様の動作が行われると共に、ノズルの内部流路長を内部直径の少なくとも100倍以上とすることで応答性及び吐出液滴の微小化の向上を図ると共により効果的に電界の集中を図ることで、より吐出位置の集中安定化を図ることを可能とする結果が得られた。

【0014】

請求項4記載の発明は、請求項1，2又は3記載の発明と同様の構成を備えると共に、ノズルの先端部でのノズルの壁面厚さをノズル先端部におけるノズルの内部直径と等しい長さ以下とする、という構成を探っている。

このため、ノズルの先端面の外径を内径の3倍以下とすることができます、当該先端面の面積の微小化を図ると共にノズルの内径を基準として先端面の大きさが規定されるので、ノズルの内径の微小化に応じてノズル先端の外径を定義することができる。その結果、ノズル先端部に形成される吐出方向に突出する凸状のメニスカスの外形をノズル内形に応じて微小化することが可能となり、より効果的にメニスカス先端部に集中電界による吐出作用が集中し、応答性の向上と液滴微小化を可能とする。

【0015】

請求項5記載の発明は、請求項4記載の発明と同様の構成を備えると共に、ノズルの先端部でのノズルの壁面厚さをノズル先端部におけるノズルの内部直径と等しい長さの1/4以下とする、という構成を探っている。

このため、ノズルの先端面の外径を内径の1.5倍以下とすることができます、当該先端面の面積をより微小化すると共にノズルの内径を基準として先端面の大きさが規定されるので、ノズルの内径の微小化に応じてノズル先端の外径を定義することができる。その結果、ノズル先端部に形成される吐出方向に突出する凸状の

メニスカスの外形をノズル内形に応じてさらに微小化することが可能となり、より効果的にメニスカス先端部に集中電界による吐出作用が集中し、さらなる応答性の向上と液滴微小化を可能とする。

【0016】

請求項6記載の発明は、請求項1から5のいずれかに記載の発明と同様の構成を備えると共に、ノズルの表面の少なくとも先端部を撥水処理する、という構成を探っている。

このため、ノズルの内径に応じた凸状メニスカスを形成することが可能となり、より効果的にメニスカス先端部に集中電界による吐出作用が集中し、さらなる応答性の向上と液滴微小化を可能とする。

【0017】

請求項7記載の発明は、請求項1から6のいずれかに記載の発明と同様の構成を備えると共に、ノズルの先端面をノズル内流路の中心線に対する傾斜面とする、という構成を探っている。

このため、傾斜面による吐出先端部側に溶液を集中させることができ、より効果的にメニスカス先端部に集中電界による吐出作用を集中させ、応答性の向上と液滴微小化を可能とする。

【0018】

請求項8記載の発明は、請求項7のいずれかに記載の発明と同様の構成を備えると共に、ノズルの先端面の傾斜角度を、30～45度の範囲とする、という構成を探っている。

上記「傾斜角度」とは、傾斜面の法線がノズル内流路の中心線と一致する状態を90度とした場合を基準とする角度をいう。

傾斜面の先端部に溶液を集中させることのみを考えれば、先端面の先端部が鋭利となる方向により傾斜している方が望ましいと考えられるが、この角度が小さすぎる場合には、先端部からの放電が生じやすくなり、電界の集中効果をかえつて損ねることとなり得る。そこで、そのようなことがないように傾斜面の傾斜角度を30～45度の範囲とすることで、電界集中の項を損なうことなく応答性の向上と液滴微小化を可能とする。

【0019】

ノズル径を20[μm]未満とすることにより、電界強度分布が狭くなる。このことにより、電界を集中させることができ。その結果、形成される液滴を微小で且つ形状の安定化したものとすることができる。また、液滴は、ノズルから吐出された直後、電界と電荷の間に働く静電力により加速されるが、ノズルから離れると電界は急激に低下するので、その後は、空気抵抗により減速する。しかしながら、微小液滴でかつ電界が集中した液滴は、対向電極に近づくにつれ、鏡像力により加速される。この空気抵抗による減速と鏡像力による加速とのバランスをとることにより、微小液滴を安定に飛翔させ、着弾精度を向上させることが可能となる。

また、ノズルの内部直径が8[μm]以下であることが好ましい。ノズル径を8[μm]以下とすることにより、さらに電界を集中させることができ可能となり、さらなる液滴の微小化と、飛翔時に対向電極の距離の変動が電界強度分布に影響することを低減させることができるので、対向電極の位置精度や基材の特性や厚さの液滴形状への影響や着弾精度への影響を低減することができる。

さらに、ノズルの内部直径が4[μm]以下とすることにより、顕著な電界の集中を図ることができ、最大電界強度を高くすることができます、形状の安定な液滴の超微小化と、液滴の初期吐出速度を大きくすることができる。これにより、飛翔安定性が向上することにより、着弾精度をさらに向上させ、吐出応答性を向上することができる。

また、上記構成において、ノズルの内部直径は0.2[μm]より大きい方が望ましい。ノズルの内径を0.2[μm]より大きくすることで、液滴の帯電効率を向上させることができるので、液滴の吐出安定性を向上させることができます。

【0020】

さらに、上記各請求項の構成において、

- (1) ノズルを電気絶縁材で形成し、ノズル内に電極を挿入あるいはメッキ形成することが好ましい。
- (2) 上記各請求項の構成又は上記(1)の構成において、ノズルを電気絶縁材で形成し、ノズル内に電極を挿入或いはメッキ形成すると共にノズルの外側に電

極を設けることが好ましい。

(1) 及び (2) により、上記各請求項による作用効果に加え、吐出力を向上させることができるので、ノズル径をさらに微小化しても、低電圧で液を吐出すことができる。

(3) 上記各請求項の構成、上記 (1) 又は (2) の構成において、基材を導電性材料または絶縁性材料により形成することが好ましい。

(4) 上記各請求項の構成、上記 (1) 、 (2) 又は (3) の構成において、ノズルに印加する電圧Vを

【数1】

$$h \sqrt{\frac{\gamma\pi}{2\epsilon_0 r}} > V > \sqrt{\frac{2\gamma k_r}{\epsilon_0}} \quad (15)$$

で表される流域において駆動することが好ましい。

ただし、 γ ：液体の表面張力、 ϵ_0 ：真空の誘電率、r：ノズル半径、h：ノズル-基板間距離、k：ノズル形状に依存する比例定数 ($1.5 < k < 8.5$) とする。

(5) 上記各請求項の構成、上記 (1) 、 (2) 、 (3) 又は (4) の構成において、印加する任意波形電圧が1000V以下であることが好ましい。

(6) 上記各請求項の構成、上記 (1) 、 (2) 、 (3) 、 (4) 又は (5) の構成において、印加する任意波形電圧が500V以下であることが好ましい。

基材を導電性または絶縁性の基材ホルダーに裁置することが好ましい。

(7) 上記各請求項の構成、上記 (1) ~ (6) いずれかの構成において、ノズルと基板との距離が500[μm]以下とすることが、ノズル径を微細にした場合でも高い着弾精度を得ることができるので好ましい。

(8) 上記各請求項の構成、上記 (1) ~ (7) いずれかの構成において、ノズル内の溶液に圧力を印加するように構成することが好ましい。

(9) 上記各請求項の構成、上記 (1) ~ (8) いずれかの構成において、単一パルスによって吐出する場合、

【数2】

$$\tau = \frac{\epsilon}{\sigma} \quad (20)$$

により決まる時定数 τ 以上のパルス幅 Δt を印加する構成としても良い。ただし、 ϵ : 流体の誘電率、 σ : 導電率とする。

【0021】

【発明の実施の形態】

以下の各実施形態で説明する液体吐出装置のノズル径（内部直径）は、30[μm]以下であることが好ましく、さらに好ましくは20[μm]未満、さらに好ましくは8[μm]以下、さらに好ましくは4[μm]以下とすることが好ましい。また、ノズル径は、0.2[μm]より大きいことが好ましい。以下、ノズル径と電界強度との関係について、図1～図6を参照しながら以下に説明する。図1～図6に対応して、ノズル径を $\phi 0.2, 0.4, 1, 8, 20[\mu\text{m}]$ 及び参考として従来にて使用されているノズル径 $\phi 50[\mu\text{m}]$ の場合の電界強度分布を示す。

ここで、各図において、ノズル中心位置とは、ノズルの液体吐出孔の液体吐出面の中心位置を示す。また、各々の図の(a)は、ノズルと対向電極との距離が2000[μm]に設定されたときの電界強度分布を示し、(b)は、ノズルと対向電極との距離が100[μm]に設定されたときの電界強度分布を示す。なお、印加電圧は、各条件とも200[V]と一定にした。図中の分布線は、電荷強度が $1 \times 10^6 [\text{V}/\text{m}]$ から $1 \times 10^7 [\text{V}/\text{m}]$ までの範囲を示している。

図7に、各条件下での最大電界強度を示す図表を示す。

図1～図6から、ノズル径が $\phi 20[\mu\text{m}]$ (図5) 以上だと電界強度分布は広い面積に広がっていることが分かった。また、図7の図表から、ノズルと対向電極の距離が電界強度に影響していることも分かった。

これらのことから、ノズル径が $\phi 8[\mu\text{m}]$ (図4) 以下であると電界強度は集中すると共に、対向電極の距離の変動が電界強度分布にほとんど影響することがなくなる。従って、ノズル径が $\phi 8[\mu\text{m}]$ 以下であれば、対向電極の位置精度及び基材の材料特性のバラつきや厚さのバラツキの影響を受けずに安定した吐出が可能

となる。ここで、1[p1]の液適量のインク2を吐出するには、ノズル径を $\phi 10[\mu\text{m}]$ にする必要があるので、上記のように、ノズル径が $8[\mu\text{m}]$ 以下であれば、液適量が1[p1]以下にすることは可能である。

次に、上記ノズルのノズル径のメニスカス部の最大電界強度と強電界領域の関係を図8に示す。

図8に示すグラフから、ノズル径が $\phi 4[\mu\text{m}]$ 以下になると、電界集中が極端に大きくなり最大電界強度を高くすることができるのが分かった。これによって、溶液の初期吐出速度を大きくすることができるので、液滴の飛翔安定性が増すと共に、メニスカス部での電荷の移動速度が増すために吐出応答性が向上する。

続いて、吐出した液滴における帯電可能な最大電荷量について、以下に説明する。液滴に帯電可能な電荷量は、液滴のレイリー分裂（レイリー限界）を考慮した以下の(5)式で示される。

$$q = 8 \times \pi \times (\epsilon_0 \times \gamma \times r^3)^2 \quad (5)$$

ここで、 q はレイリー限界を与える電荷量、 ϵ_0 は真空の誘電率、 γ はインクの表面張力、 r はインク液滴の半径である。

上記(5)式で求められる電荷量 q がレイリー限界値に近いほど、同じ電界強度でも静電力が強く、吐出の安定性が向上するが、レイリー限界値に近すぎると、逆にノズルの液体吐出孔で溶液の霧散が発生してしまい、吐出安定性に欠けてしまう。

ここで、ノズルのノズル径とメニスカス部で吐出する液滴が飛翔を開始する吐出開始電圧、該初期吐出液滴のレイリー限界での電圧値及び吐出開始電圧とレイリー限界電圧値の比との関係を示すグラフを図9に示す。

図9に示すグラフから、ノズル径が $\phi 0.2[\mu\text{m}]$ から $\phi 4[\mu\text{m}]$ の範囲において、吐出開始電圧とレイリー限界電圧値の比が0.6を超え、液滴の退園効率が良い結果となっており、該範囲において安定した吐出が行えることが分かった。

例えば、図10に示すノズル径とメニスカス部の強電界($1 \times 10^6[\text{V}/\text{m}]$ 以上)の領域の関係で表されるグラフでは、ノズル径が $\phi 0.2[\mu\text{m}]$ 以下になると電界集中の領域が極端に狭くなることが示されている。このことから、吐出する液滴は、加速するためのエネルギーを十分に受けることができず飛翔安定性が低下する

ことを示す。よって、ノズル径は $\phi 0.2[\mu\text{m}]$ より大きく設定することが好ましい。

【0022】

[液体吐出装置]

(液体吐出装置の全体構成)

以下、液体吐出装置について図11乃至図14に基づいて説明する。図11は後述するノズル51に沿った液体吐出装置50の断面図である。

【0023】

この液体吐出装置50は、ノズルプレート56d上に設けられ、帯電可能な溶液の液滴をその先端部から吐出する超微細径のノズル51と、ノズル51の先端部に対向する対向面を有すると共にその対向面で液滴の着弾を受ける基材Kを支持する対向電極23と、ノズル51内の流路52に溶液を供給する溶液供給手段53と、ノズル51内の溶液に吐出電圧を印加する吐出電圧印加手段35と、ノズル51内に溶液の吸引を行う溶液吸引手段40とを備えている。なお、上記ノズル51と溶液供給手段53の一部の構成と吐出電圧印加手段35の一部の構成はノズルプレート56により一体的に形成されている。

なお、説明の便宜上、図1ではノズル51の先端部が上方を向いた状態で図示されているが、実際には、ノズル51が水平方向か或いはそれよりも下方、より望ましくは垂直下方に向けた状態で使用される。

【0024】

(ノズル)

上記ノズル51は、後述するノズルプレート56cと共に一体的に形成されており、当該ノズルプレート56cの平板面上から垂直に立設されている。また、液滴の吐出時においては、ノズル51は、基材Kの受け面（液滴が着弾する面）に対して垂直に向けて使用される。さらに、ノズル51にはその先端部からその中心線に沿って貫通するノズル内流路52が形成されている。

【0025】

ノズル51について図12及び図13によりさらに詳説する。図12は、ノズル51の先端部における各寸法を示す符号を表す説明図であり、図13(A)は

ノズル51の先端部における撥水処理状態を示す説明図、図13（B）は撥水処理の他の例を示す説明図である。

ノズル51は、前述の通り、超微細径で形成され、好ましくはノズル径は30[μm]以下に形成されている。なお、20[μm]未満が好ましく、さらに8[μm]以下が好ましく、さらに4[μm]以下が好ましい。具体的な各部の寸法の一例を挙げると、ノズル内流路52のノズルの先端部における内部直径D_Iは1[μm]とし、超微細化による電界の集中を図っている。また、ノズル先端部におけるノズルの外径D_Oを2[μm]とし、ノズル51の先端部での管の壁面厚さtを内部直径D_Iと等しい長さより小さい0.5[μm]に設定し、ノズル51の先端面の縮小化を図り、先端部に形成される溶液の凸状メニスカスの外径の縮小化を図っている。なお、ノズル51の先端面のさらなる小径化を図るためにtの値は内部直径D_Iの1/4以下（例えば0.2[μm]）としても良い。

また、ノズル51の根元の直径D_{max}は5[μm]とし、ノズルの周面にテーパを形成している。

また、ノズル径は0.2[μm]より大きいことが望ましい。

【0026】

さらに、ノズル51の高さ（後述する上面層56cの吐出側平面からの突出高さ）は100[μm]に設定されており、その形状は限りなく円錐形に近い円錐台形に形成されている。そして、ノズル内流路52はノズル51とその下に位置するノズルプレート56cの平面部までを貫通して設けられているので、ノズル51の高さを上記値とすることによりノズル内流路52の流路長は100[μm]以上となる。このように、ノズル内流路52の流路長をノズル先端におけるノズルの内部直径の10倍以上、好ましくは50倍以上、より好ましくは100倍以上とすることにより、集中された電界から受ける吐出力をノズル51の先端部により効果的に集中させる。

また、ノズル51はその全体がノズルプレート56cと共に絶縁材料としてのガラスを材料とし、フェムト秒レーザにより図示の形状及び寸法に形成した。

【0027】

また、図13（A）に示すように、ノズル51の流路52を除く先端面上には

撥水処理膜51aが形成されている。この撥水処理膜51aは、一例として、アモルファスカーボンの蒸着により形成される。また、この撥水処理膜51aは、図13（B）に示すように、ノズル51の先端面だけではなくノズル51の表面全体に形成しても良い。

【0028】

（溶液供給手段）

溶液供給手段53は、液体吐出ヘッド56の内部であってノズル51の根元となる位置に設けられると共にノズル内流路52に連通する溶液室54と、図示しない外部の溶液タンクから溶液室54に溶液を導く供給路57とを有している。

上記溶液タンクは、自重により緩やかな圧力で溶液室54への溶液の供給を行うために、溶液タンクはノズルプレート56よりも高位置に配置される。

【0029】

（吐出電圧印加手段）

吐出電圧印加手段35は、ノズルプレート56の内部であってノズル51の後端部側、即ち溶液室54とノズル内流路52との境界位置に設けられた吐出電圧印加用の吐出電極58と、この吐出電極58に常時、直流のバイアス電圧を印加するバイアス電源30と、吐出電極28にバイアス電圧に重畠して吐出に要する電位とする吐出パルス電圧を印加する吐出電圧電源31と、を備えている。

【0030】

上記吐出電極58は、溶液室54内部において溶液に直接接触し、溶液を帯電させると共に吐出電圧を印加する。

また、吐出電極58は、ノズルプレート面よりもノズル51の後端部（先端部と反対側の端部）側に配置することで少しでも先端部から遠ざけ、印加される吐出パルス電圧の急な電圧変化等によるノズル先端部への影響を低減させている。

上記バイアス電源30によるバイアス電圧は、溶液の吐出が行われない範囲で常時電圧印加を行うことにより、吐出時に印加すべき電圧の幅を予め低減し、これによる吐出時の反応性の向上を図っている。

【0031】

吐出電圧電源31は、溶液の吐出を行う際にのみパルス電圧をバイアス電圧に

重畠させて印加する。このときの重畠電圧Vは次式（（1）の右半分）の条件を満たすようにパルス電圧の値が設定されている。

【数3】

$$V > \sqrt{\frac{2\gamma kr}{\epsilon_0}} \quad (25)$$

但し、 γ ：溶液の表面張力、 ϵ_0 ：真空の誘電率、r：ノズル半径、k：ノズル形状に依存する比例定数（1.5<k<8.5）とする。

一例を挙げると、バイアス電圧はDC300[V]で印加され、パルス電圧は100[V]で印される。従って、吐出の際の重畠電圧は400[V]となる。

【0032】

（液体吐出ヘッド）

液体吐出ヘッド56は、図11において最も下層に位置するベース層56aと、その上に位置する溶液の供給路を形成する流路層56bと、この流路層56bのさらに上に形成されるノズルプレート56cとを備え、流路層56bとノズルプレート56cとの間には前述した吐出電極58が介挿されている。

上記ベース層56aは、シリコン基板或いは絶縁性の高い樹脂又はセラミックにより形成され、その上にフォトレジスト層を形成すると共に供給路57及び溶液室54のパターンを現像・露光・溶解することにより絶縁樹脂層により供給路57及び溶液室54に従う部分のみを残して除去し、除去された部分に絶縁樹脂層を形成する。この絶縁樹脂層が流路層56bとなる。そして、この絶縁樹脂層の上面に導電素材（例えばNiP）のメッキにより吐出電極58を形成する。さらにその上には、前述のようにフェムト秒レーザにより加工されたガラス材からなるノズルプレート56cが装備される。

そして、供給路57及び溶液室54のパターンに従う溶解可能な樹脂層を除去し、これら供給路57及び溶液室54が開通する。そして、最後に、ノズル51の先端部にアモルファスカーボンを蒸着により形成することで撥水処理膜51aが形成されてノズルプレート56が完成する。

【0033】

(対向電極)

対向電極23は、ノズル51に垂直な対向面を備えており、かかる対向面に沿うように基材Kの支持を行う。ノズル51の先端部から対向電極23の対向面までの距離は、一例としては100[μm]に設定される。

また、この対向電極23は接地されているため、常時、接地電位を維持している。従って、パルス電圧の印加時にはノズル51の先端部と対向面との間に生じる電界による静電力により吐出された液滴を対向電極23側に誘導する。

なお、液体吐出装置50は、ノズル51の超微細化による当該ノズル51の先端部での電界集中により電界強度を高めることで液滴の吐出を行うことから、対向電極23による誘導がなくとも液滴の吐出を行うことは可能ではあるが、ノズル51と対向電極23との間での静電力による誘導が行われた方が望ましい。また、帯電した液滴の電荷を対向電極23の接地により逃がすことも可能である。

【0034】

(液体吐出装置による微小液滴の吐出動作)

図4により液体吐出装置50の吐出動作の説明を行う。図14は溶液に印加される電圧との関係を示す説明図であって、図14(A)は吐出を行わない状態であり、図14(B)は吐出状態を示す

既に、ノズル内流路52には溶液が供給された状態にあり、かかる状態でバイアス電源30により吐出電極58を介してバイアス電圧が溶液に印加されている。かかる状態で、溶液は帯電すると共に、ノズル51の先端部において溶液による凹状に窪んだメニスカスが形成される(図14(A))。

そして、吐出電圧電源31により吐出パルス電圧が印加されると、ノズル51の先端部では集中された電界の電界強度による静電力により溶液がノズル51の先端側に誘導され、外部に突出した凸状メニスカスが形成されると共に、かかる凸状メニスカスの頂点により電界が集中し、ついには溶液の表面張力に抗して微小液滴が対向電極側に吐出される(図14(B))。

【0035】

上記液体吐出装置50は、従来にない微小径のノズル51により液滴の吐出を

行うので、ノズル内流路52内で帯電した状態の溶液により電界が集中され、電界強度が高められる。このため、従来のように電界の集中化が行われない構造のノズル（例えば内径100[μm]）では吐出に要する電圧が高くなり過ぎて事実上吐出不可能とされていた微細径でのノズルによる溶液の吐出を従来よりも低電圧で行うことを可能としている。

そして、微細径であるがために、ノズルコンダクタンスの低さによりその単位時間あたりの吐出流量を低減する制御を容易に行うことができると共に、パルス幅を狭めることなく十分に小さな液滴径（上記各条件によれば0.8[μm]）による溶液の吐出を実現している。

さらに、吐出される液滴は帯電されているので、微小の液滴であっても蒸気圧が低減され、蒸発を抑制することから液滴の質量の損失を低減し、飛翔の安定化を図り、液滴の着弾精度の低下を防止する。

【0036】

また、液体吐出装置50では、ノズル内流路長の内部直径の100倍以上に設定しているので、より効果的に電界を集中させる効果が得られ、液滴の吐出の応答性及び吐出液滴の微小化を図ると共により吐出位置の集中安定化を図ることを可能とする。

また、ノズル51の先端部での管の壁面厚さを内部直径D_Iと等しい長さ以下としているので、ノズル51の先端面の外径を内径の3倍以下とすることができます、凸状メニスカスの微小化により効果的にメニスカス先端部に集中電界による吐出作用の集中を図り、応答性の向上と液滴微小化を図ることができる。

さらに、ノズル51の表面の先端面を撥水処理膜51aを設けているので、ノズル51の内径に応じた凸状メニスカスを形成することが可能となり、より効果的にメニスカス先端部に集中電界による吐出作用が集中し、応答性の向上と液滴微小化とを図ることが可能となる。この場合、ノズル51の壁面厚さtを薄くしたことによる凸状メニスカスの微小化という意義は薄れるが、その場合であっても、万が一、溶液が撥水処理膜51a上まで広がった場合でも、先端面の範囲内に納めることができ、二段構えで凸状メニスカスの微小化を維持するという効果がある。

【0037】

(他のノズル形状)

ノズル51の先端形状については、図15に示すように、ノズル51の先端面をノズル内流路52の中心線に対する傾斜面51bとしても良い。かかる傾斜面51bの傾斜角度θ（傾斜面51bの法線がノズル内流路の中心線と一致する場合を90度とする）は、30~45[°]の範囲が望ましく、ここでは40[°]とする。ノズル51の先端面をこのような角度範囲の傾斜面51bとすることにより、放電による電界集中の効果を損ねることなく、傾斜面51bによる吐出先端部側に溶液を集中させることができ、より効果的にメニスカス先端部に集中電界による吐出作用を集中させ、応答性の向上と液滴微小化とを図ることが可能となる。

【0038】

(その他)

なお、ノズル51にエレクトロウェッティング効果を得るために、ノズル51の外周に電極を設けるか、また或いは、ノズル内流路22の内面に電極を設け、その上から絶縁膜で被覆しても良い。そして、この電極に電圧を印加することで、吐出電極28により電圧が印加されている溶液に対して、エレクトロウェッティング効果によりノズル内流路22の内面のぬれ性を高めることができ、ノズル内流路22への溶液の供給を円滑に行うことができ、良好に吐出を行うと共に、吐出の応答性の向上を図ることが可能となる。

【0039】

[ノズルの比較試験1]

上述した液体吐出装置50とほぼ同一の液体吐出装置により、ノズルの各部の寸法を変えて所定の条件下で行った比較試験の結果を以下に説明する。図16は、比較試験結果を示す図表である。比較試験では、ノズルプレートの上面層（ノズルを含む）におけるD_I, D₀, D_{max}, H（図12参照）の値を以下に示す各寸法となるように、ガラス材料からフェムト秒レーザにより加工した八種類の対象について比較を行ったものである。

No. 1

$$D_I = 1[\mu\text{m}], D_0 = 2[\mu\text{m}], D_{max} = 5[\mu\text{m}], H = 1[\mu\text{m}]$$

No. 2

$D_I=1[\mu\text{m}]$, $D_0=2[\mu\text{m}]$, $D_{\max}=5[\mu\text{m}]$, $H=9[\mu\text{m}]$

No. 3

$D_I=1[\mu\text{m}]$, $D_0=2[\mu\text{m}]$, $D_{\max}=5[\mu\text{m}]$, $H=10[\mu\text{m}]$

No. 4

$D_I=1[\mu\text{m}]$, $D_0=2[\mu\text{m}]$, $D_{\max}=5[\mu\text{m}]$, $H=49[\mu\text{m}]$

No. 5

$D_I=1[\mu\text{m}]$, $D_0=2[\mu\text{m}]$, $D_{\max}=5[\mu\text{m}]$, $H=50[\mu\text{m}]$

No. 6

$D_I=1[\mu\text{m}]$, $D_0=2[\mu\text{m}]$, $D_{\max}=5[\mu\text{m}]$, $H=51[\mu\text{m}]$

No. 7

$D_I=1[\mu\text{m}]$, $D_0=2[\mu\text{m}]$, $D_{\max}=5[\mu\text{m}]$, $H=99[\mu\text{m}]$

No. 8

$D_I=1[\mu\text{m}]$, $D_0=2[\mu\text{m}]$, $D_{\max}=5[\mu\text{m}]$, $H=100[\mu\text{m}]$

【0040】

なお、上記条件以外は第一の実施形態で示した液体吐出装置50と同じ構成である。

さらに、駆動条件としては、(1)吐出のトリガーとなるパルス電圧の周波数を1[kHz]として100回の吐出液滴をサンプリングし、(2)吐出電圧：バイアス電圧を300[V]、吐出パルス電圧を100[V]とし、(3)ノズル先端から対向電極までの距離100[μm]、(4)溶液は水であり、その物性は粘性： $8[\text{cP}]$ ($8 \times 10^{-2}[\text{Pa} \cdot \text{s}]$)、比抵抗： $10^8[\Omega\text{cm}]$ 、表面張力 $30 \times 10^{-3}[\text{N/m}]$ であり、(5)基板をガラス基板としている。

上記条件の下で実体顕微鏡とデジタルカメラで撮影し、微小化及び均一性を評価した。また、最も均一性の良いものを5とする段階的評価を行った。

【0041】

その結果、ノズル高さHを内部直径の10倍である10[μm]としたときに、吐出液滴径をノズル内部直径と等しい1[μm]まで微小化し、均一性は3の向上が観測された。

さらに、ノズル高さHを内部直径の50倍である $50[\mu\text{m}]$ としたときに、吐出液滴径をノズル内部直径よりも微小な $0.8[\mu\text{m}]$ まで微小化し、均一性は4と向上しドット径のばらつきの顕著な低減が観測された。

さらに、ノズル高さHを内部直径の100倍である $100[\mu\text{m}]$ としたときに、均一性は5と向上しドット径のばらつきの顕著な低減が観測された。

【0042】

[ノズルの比較試験2]

上述した液体吐出装置50とほぼ同一の液体吐出装置により、ノズルの各部の設計条件を変えて所定の駆動条件下で行った比較試験の結果を以下に説明する。

図17は、比較試験結果を示す図表である。比較試験では、ノズルプレートの上面層（ノズルを含む）における D_I, t （図12参照）の値を以下に示す各寸法となるように且つノズル先端の傾斜面の傾斜角度が以下に示す角度となるようにガラス材料からフェムト秒レーザにより加工し、且つ撥水処理膜を形成しないものと図13（A）のように形成するものと図13（B）のように形成するものとにより九種類の対象について比較を行ったものである。

No. 1

$D_I=1[\mu\text{m}], t=2[\mu\text{m}]$, 撥水処理膜：無し, 傾斜角度90[°]（傾斜無し）

No. 2

$D_I=1[\mu\text{m}], t=1[\mu\text{m}]$, 撥水処理膜：無し, 傾斜角度90[°]（傾斜無し）

No. 3

$D_I=1[\mu\text{m}], t=0.2[\mu\text{m}]$, 撥水処理膜：無し, 傾斜角度90[°]（傾斜無し）

No. 4

$D_I=1[\mu\text{m}], t=1[\mu\text{m}]$, 撥水処理膜：先端面のみ（図13（A）），傾斜角度90[°]（傾斜無し）

No. 5

$D_I=1[\mu\text{m}], t=0.2[\mu\text{m}]$, 撥水処理膜：先端面+外周面（図13（B）），傾斜角度90[°]（傾斜無し）

No. 6

$D_I=1[\mu\text{m}], t=2[\mu\text{m}]$, 撥水処理膜：先端面+外周面（図13（B）），傾

斜角度90[°]（傾斜無し）

No. 7

$D_I=1[\mu\text{m}]$, $t=1[\mu\text{m}]$, 撥水処理膜：先端面+外周面（図13（B）），傾斜角度40[°]

No. 8

$D_I=1[\mu\text{m}]$, $t=0.2[\mu\text{m}]$, 撥水処理膜：先端面+外周面（図13（B）），傾斜角度40[°]（傾斜無し）

No. 9

$D_I=1[\mu\text{m}]$, $t=0.2[\mu\text{m}]$, 撥水処理膜：先端面+外周面（図13（B）），傾斜角度20[°]（傾斜無し）

【0043】

なお、上記条件以外は第一の実施形態で示した液体吐出装置50と同じ構成である。

さらに、駆動条件としては、（1）吐出のトリガーとなるパルス電圧の周波数を1[kHz]として100回の吐出液滴をサンプリングし、（2）吐出電圧：バイアス電圧を300[V]、吐出パルス電圧を100[V]とし、（3）ノズル先端から対向電極までの距離100[μm]、（4）溶液は水であり、その物性は粘性： $8[\text{cP}]$ ($8 \times 10^{-2}[\text{Pa} \cdot \text{s}]$)，比抵抗： $10^8[\Omega \text{cm}]$ ，表面張力 $30 \times 10^{-3}[\text{N/m}]$ であり、（5）基板をガラス基板としている。

上記条件の下で実体顕微鏡とデジタルカメラで撮影し、最も応答性の良いものを5とする段階的評価を行った。

【0044】

その結果、ノズル先端部の壁面厚さtが内部直径よりも大きな $2[\mu\text{m}]$ としたNo. 1と比較して、ノズル先端部の壁面厚さtを内部直径に等しい $1[\mu\text{m}]$ としたとき（No. 2）に応答性の著しい向上が観測され、tを内部直径の $1/4$ よりも小さい $0.2[\mu\text{m}]$ としたとき（No. 3）にはさらなる向上が観測された。

【0045】

また、撥水処理膜を設けていないNo. 2と比較して、ノズル先端面にのみ撥水処理膜を設けた場合（No. 4）に応答性の向上が観測された。

さらに、撥水処理膜を設けていないNo. 3と比較して、ノズル先端面及び外周面に撥水処理膜を設けた場合（No. 5）に著しい応答性の向上が観測された。

【0046】

また、ノズル先端面に傾斜面の傾斜角度を90[°]（傾斜無し）とするNo. 5と比較して、ノズル先端面に傾斜面の傾斜角度を40[°]とする場合（No. 8）に最も良好且つ著しい応答性の向上が観測された。

一方、傾斜面を有さないNo. 5と比較して、ノズル先端面に傾斜面の傾斜角度を20[°]とする場合（No. 9）には応答性の低下が観測された。これは、傾斜角が小さくなる（先端がより鋭角となる）と放電しやすい傾向にあり、その影響が発生したことが原因と考えられる。

【0047】

[液体吐出装置の理論説明]

以下に、本発明による液体吐出の理論説明及びこれに基づく基本例の説明を行う。なお、以下に説明する理論及び基本例におけるノズルの構造、各部の素材及び吐出液体の特性、ノズル周囲に付加する構成、吐出動作に関する制御条件等全ての内容は、可能な限り上述した実施形態中に適用しても良いことはいうまでもない。

【0048】

(印加電圧低下および微少液滴量の安定吐出実現の方策)

本発明では、静電吸引型インクジェット方式において果たすノズルの役割を再考察し、

【数4】

$$r < \frac{\lambda_c}{4} \quad (5)$$

即ち、

【数5】

$$r < \frac{\pi \gamma h^2}{2\epsilon_0 V^2} \quad (6)$$

或いは

【数6】

$$V < \sqrt{\frac{\pi \gamma}{2\epsilon_0 r}} \cdot h \quad (7)$$

という従来吐出不可能として試みられていなかった領域において、マクスウェル力などを利用することで、微細液滴を形成することができる。

このような駆動電圧低下および微少量吐出実現の方策のための吐出条件等を近似的に表す式を導出したので以下に述べる。

以下の説明は、上記各本発明の実施形態で説明した液体吐出装置に適用可能である。

いま、半径 r のノズルに導電性溶液を注入し、基材としての無限平板導体から h の高さに垂直に位置させたと仮定する。この様子を図18に示す。このとき、ノズル先端部に誘起される電荷は、ノズル先端の半球部に集中すると仮定し、以下の式で近似的に表される。

【数7】

$$Q = 4\pi\epsilon_0 \alpha r V \quad (8)$$

ここで、 Q ：ノズル先端部に誘起される電荷、 ϵ_0 ：真空の誘電率、 ϵ ：基板の誘電率、 h ：ノズル-基板間距離、 r ：ノズル内径の半径、 V ：ノズルに印加する電圧である。 α ：ノズル形状などに依存する比例定数で、1~1.5程度の値を取り、特に $r \ll h$ のときほぼ1程度となる。

【0049】

また、基材としての基板が導体基板の場合、基板内の対称位置に反対の符号を持つ鏡像電荷 Q' が誘導されると考えられる。基板が絶縁体の場合は、誘電率によって定まる対称位置に同様に反対符号の映像電荷 Q' が誘導される。

ところで、ノズル先端部に於ける電界強度 $E_{loc.}$ は、先端部の曲率半径をRと仮定すると、

【数8】

$$E_{loc.} = \frac{V}{kR} \quad (9)$$

で与えられる。ここでk：比例定数で、ノズル形状などにより異なるが、1.5～8.5程度の値をとり、多くの場合5程度と考えられる。(P. J. Birdseye and D.A. Smith, Surface Science, 23 (1970) 198-210)。

今簡単のため、 $r = R$ とする。これは、ノズル先端部に表面張力で導電性溶液がノズル径 r と同じ半径を持つ半球形状に盛り上がっている状態に相当する。

ノズル先端の液体に働く圧力のバランスを考える。まず、静電的な圧力は、ノズル先端部の液面積をSとすると、

【数9】

$$p_e = \frac{Q}{S} E_{loc.} \approx \frac{Q}{4\pi r^2 / 2} E_{loc.} \quad (10)$$

(8)、(9)、(10)式より $\alpha = 1$ とおいて、

【数10】

$$p_e = \frac{2\epsilon_0 V}{r} \frac{V}{kr} = \frac{2\epsilon_0 V^2}{kr^2} \quad (11)$$

と表される。

【0050】

一方、ノズル先端部に於ける液体の表面張力を P_s とすると、

【数11】

$$P_s = \frac{2\gamma}{r} \quad (1.2)$$

ここで、 γ ：表面張力、である。

静電的な力により流体の吐出が起こる条件は、静電的な力が表面張力を上回る条件なので、

【数12】

$$P_e > P_s \quad (1.3)$$

となる。十分に小さいノズル径 r をもちいることで、静電的な圧力が、表面張力を上回らせる事が可能である。

この関係式より、 V と r の関係を求めると、

【数13】

$$V > \sqrt{\frac{2\gamma k}{\epsilon_0} r} \quad (1.4)$$

が吐出の最低電圧を与える。すなわち、式(7)および式(1.4)より、

【数14】

$$h \sqrt{\frac{\gamma \pi}{2\epsilon_0 r}} > V > \sqrt{\frac{2\gamma k}{\epsilon_0} r} \quad (1.5)$$

が、本発明の動作電圧となる。

【0051】

ある半径 r のノズルに対し、吐出限界電圧 V_c の依存性を前述した図9に示す。この図より、微細ノズルによる電界の集中効果を考慮すると、吐出開始電圧は、ノズル径の減少に伴い低下する事が明らかになった。

従来の電界に対する考え方、すなわちノズルに印加する電圧と対向電極間の距離によって定義される電界のみを考慮した場合では、微小ノズルになるに従い、吐出に必要な電圧は増加する。一方、局所電界強度に注目すれば、微細ノズル化により吐出電圧の低下が可能となる。

【0052】

静電吸引による吐出は、ノズル端部における流体の帶電が基本である。帶電の速度は誘電緩和によって決まる時定数程度と考えられる。

【数15】

$$\tau = \frac{\epsilon}{\sigma} \quad (20)$$

ここで、 ϵ ：流体の比誘電率、 σ ：流体の導電率である。流体の比誘電率を10、導電率を 10^{-6} S/m を仮定すると、 $\tau = 1.854 \times 10^{-5}$ sec となる。あるいは、臨界周波数を f_c とすると、

【数16】

$$f_c = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (21)$$

となる。この f_c よりも早い周波数の電界の変化に対しては、応答できず吐出は不可能になると考えられる。上記の例について見積もると、周波数としては 10 kHz 程度となる。このとき、ノズル半径 $2\mu m$ 、電圧 500V 弱の場合、G は $10^{-13} m^3/s$ と見積もることができるが、上記の例の液体の場合、10kHz での吐出が可能なので、1 周期での最小吐出量は $10 f_l$ (フェムトリットル、 $1 f_l : 10^{-15} l$) 程度を達成できる。

【0053】

なお、各上記本実施の形態においては、図18に示したようにノズル先端部に於ける電界の集中効果と、対向基板に誘起される鏡像力の作用を特徴とする。このため、先行技術のように基板または基板支持体を導電性にしたり、これら基板または基板支持体に電圧を印加する必要はない。すなわち、基板として絶縁性のガラス基板、ポリイミドなどのプラスチック基板、セラミックス基板、半導体基板などを用いることが可能である。

また、上記各実施形態において電極への印加電圧はプラス、マイナスのどちらでも良い。

さらに、ノズルと基材との距離は、 $500[\mu\text{m}]$ 以下に保つことにより、溶液の吐出を容易にすることができます。また、図示しないが、ノズル位置検出によるフィードバック制御を行い、ノズルを基材に対し一定に保つようとする。

また、基材を、導電性または絶縁性の基材ホルダーに載置して保持するようにしても良い。

【0054】

図19は、本発明の他の基本例の一例としての液体吐出装置の側面断面図を示したものである。ノズル1の側面部には電極15が設けられており、ノズル内溶液3との間に制御された電圧が引加される。この電極15の目的は、Electrowetting効果を制御するための電極である。十分な電場がノズルを構成する絶縁体にかかる場合この電極がなくともElectrowetting効果は起こると期待される。しかし、本基本例では、より積極的にこの電極を用いて制御することで、吐出制御の役割も果たすようにしたものである。ノズル1を絶縁体で構成し、その厚さが $1\mu\text{m}$ 、ノズル内径が $2\mu\text{m}$ 、印加電圧が 300V の場合、約30気圧のElectrowetting効果になる。この圧力は、吐出のためには、不十分であるが溶液のノズル先端部への供給の点からは意味があり、この制御電極により吐出の制御が可能と考えられる。

【0055】

前述した図9は、本発明における吐出開始電圧のノズル径依存性を示したものである。液体吐出装置として、図1に示すものを用いた。微細ノズルになるに従い吐出開始電圧が低下し、従来より低電圧で吐出可能なことが明らかになった。

【0056】

上記各実施形態において、溶液吐出の条件は、ノズル基板間距離(L)、印加電圧の振幅(V)、印加電圧振動数(f)のそれぞれの関数になり、それぞれにある一定の条件を満たすことが吐出条件として必要になる。逆にどれか一つの条件を満たさない場合他のパラメーターを変更する必要がある。

【0057】

この様子を図20を用いて説明する。

まず吐出のためには、それ以上の電界でないと吐出しないというある一定の臨界電界Ecが存在する。この臨界電界は、ノズル径、溶液の表面張力、粘性などによって変わってくる値で、Ec以下での吐出は困難である。臨界電界Ec以上すなわち吐出可能電界強度において、ノズル基板間距離(L)と印加電圧の振幅(V)の間に、おおむね比例の関係が生じ、ノズル間距離を縮めた場合、臨界印加電圧Vを小さくする事が出来る。

逆に、ノズル基板間距離Lを極端に離し、印加電圧Vを大きくした場合、仮に同じ電界強度を保ったとしても、コロナ放電による作用などによって、流体液滴の破裂すなわちバーストが生じてしまう。そのため良好な吐出特性を得るためにノズル基板間距離は $100\mu m$ 程度以下に抑えることが吐出特性並びに、着弾精度の両面から望ましい。

【0058】

【発明の効果】

本発明は、ノズルを従来にない超微細径とすることでノズル先端部に電界を集中させて電界強度を高めると共にその際に誘導される基材側の鏡像電荷或いは映像電荷までの間に生じる電界の静電力により液滴の飛翔を行っている。

従って、基材が導電体であっても絶縁体であっても良好に液滴の吐出を行うことが可能となる。また、対向電極の存在を不要とすることが可能となる。さらに、これにより、装置構成における備品点数の低減を図ることが可能となる。従つて、本発明を業務用インクジェットシステムに適用した場合、システム全体の生産性の向上に貢献し、コスト低減をも図ることが可能となる。

【0059】

さらに、本発明は、ノズル径の超微細化と共に、ノズル内流路長を内部直径の10倍以上に設定することにより、より強力な電界強度が得られが、液滴の吐出の応答性を向上させることが可能となる。

また、吐出電極をノズルの後端部側に設けることにより、溶液の吐出を行う先端部から吐出電極を遠ざけることができ、電位の変化が絶えず行われる吐出電極による外乱の影響を低減し、安定した溶液の吐出を行うことが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

ノズル径を $\phi 0.2 [\mu\text{m}]$ とした場合の電界強度分布を示し、図1 (a) はノズルと対向電極との距離が $2000 [\mu\text{m}]$ に設定されたときの電界強度分布を示し、図1 (b) は、ノズルと対向電極との距離が $100 [\mu\text{m}]$ に設定されたときの電界強度分布を示す。

【図2】

ノズル径を $\phi 0.4 [\mu\text{m}]$ とした場合の電界強度分布を示し、図2 (a) はノズルと対向電極との距離が $2000 [\mu\text{m}]$ に設定されたときの電界強度分布を示し、図2 (b) は、ノズルと対向電極との距離が $100 [\mu\text{m}]$ に設定されたときの電界強度分布を示す。

【図3】

ノズル径を $\phi 1 [\mu\text{m}]$ とした場合の電界強度分布を示し、図3 (a) はノズルと対向電極との距離が $2000 [\mu\text{m}]$ に設定されたときの電界強度分布を示し、図3 (b) は、ノズルと対向電極との距離が $100 [\mu\text{m}]$ に設定されたときの電界強度分布を示す。

【図4】

ノズル径を $\phi 8 [\mu\text{m}]$ とした場合の電界強度分布を示し、図4 (a) はノズルと対向電極との距離が $2000 [\mu\text{m}]$ に設定されたときの電界強度分布を示し、図4 (b) は、ノズルと対向電極との距離が $100 [\mu\text{m}]$ に設定されたときの電界強度分布を示す。

【図5】

ノズル径を $\phi 20 [\mu\text{m}]$ とした場合の電界強度分布を示し、図5 (a) はノズル

と対向電極との距離が2000[μm]に設定されたときの電界強度分布を示し、図5 (b) は、ノズルと対向電極との距離が100[μm]に設定されたときの電界強度分布を示す。

【図6】

ノズル径を $\phi 50$ [μm]とした場合の電界強度分布を示し、図6 (a) はノズルと対向電極との距離が2000[μm]に設定されたときの電界強度分布を示し、図6 (b) は、ノズルと対向電極との距離が100[μm]に設定されたときの電界強度分布を示す。

【図7】

図1～図6の各条件下での最大電界強度を示す図表を示す。

【図8】

ノズルのノズル径のメニスカス部の最大電界強度と強電界領域の関係を示す線図である。

【図9】

ノズルのノズル径とメニスカス部で吐出する液滴が飛翔を開始する吐出開始電圧、該初期吐出液滴のレイリー限界での電圧値及び吐出開始電圧とレイリー限界電圧値の比との関係を示す線図である。

【図10】

ノズル径とメニスカス部の強電界の領域の関係で表されるグラフである。

【図11】

ノズルに沿った液体吐出装置の断面図である。

【図12】

ノズルの先端部における各寸法を示す符号を表す説明図である。

【図13】

図13 (A) はノズルの先端部における撥水処理状態を示す説明図、図13 (B) は撥水処理の他の例を示す説明図である。

【図14】

溶液に印加される電圧との関係を示す説明図であって、図14 (A) は吐出を行わない状態であり、図14 (B) は吐出状態を示す。

【図15】

先端に傾斜面を設けた他のノズルの例を示す説明図である。

【図16】

ノズルの各部の寸法を変えて所定の条件下で行った比較試験の結果を示す図表である。

【図17】

ノズルの各部の寸法を変えて所定の条件下で行った比較試験の結果を示す図表である。

【図18】

本発明の実施の形態として、ノズルの電界強度の計算を説明するために示したものである。

【図19】

本発明の一例としての液体吐出装置の側面断面図を示したものである。

【図20】

本発明の実施の形態の液体吐出装置における距離一電圧の関係による吐出条件を説明した図である。

【符号の説明】

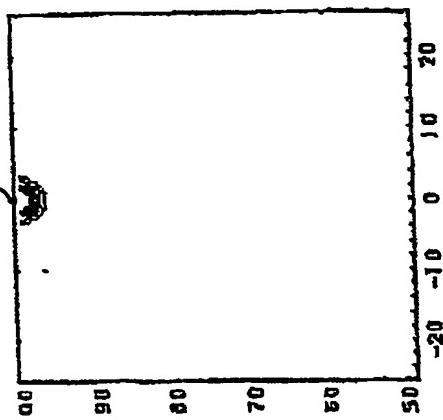
- 1 ノズル
- 2 金属電極線
- 3 流体（溶液）
- 4 シールドゴム
- 5 ノズルクランプ
- 6 ホルダー
- 7 圧力調整器
- 8 圧力チューブ
- 9 コンピュータ
- 10 任意波形発生装置
- 11 高電圧アンプ
- 12 導線

- 1 3 基板
- 1 4 基板ホルダー
- 1 5 ノズル外側の電極
- 3 5 吐出電圧印加手段
- 5 0 液体吐出装置
- 5 1 ノズル
- 5 1 a 傾斜面
- 5 1 b 濡水処理膜
- 5 3 溶液供給手段
- 5 8 吐出電極
- K 基材

【書類名】 図面

【図1】

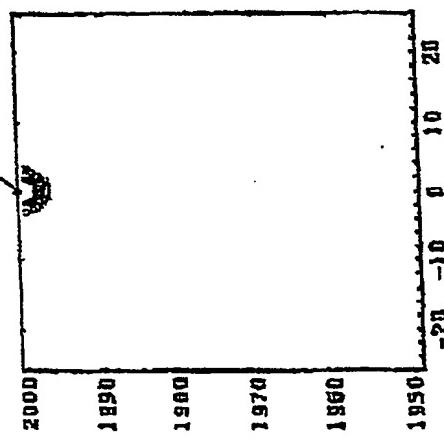
(b) ノズル中心位置



ノズル中心からの距離(μm)

(c) 対向電極からの距離(μm)

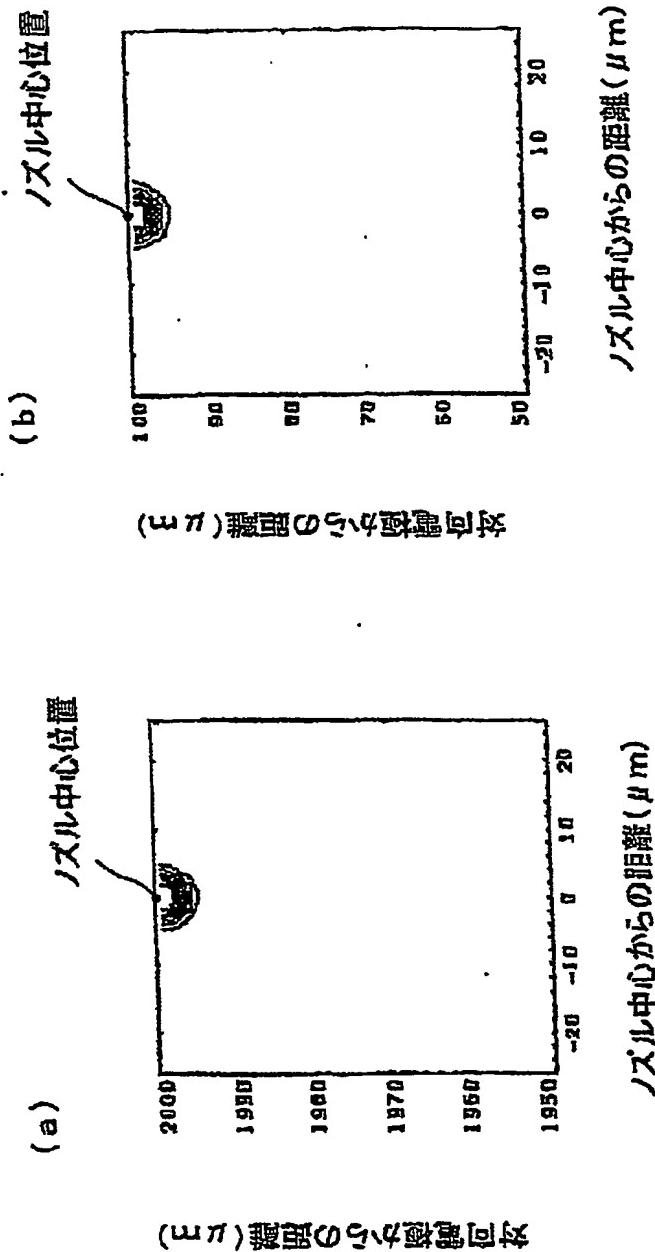
(d) ノズル中心位置



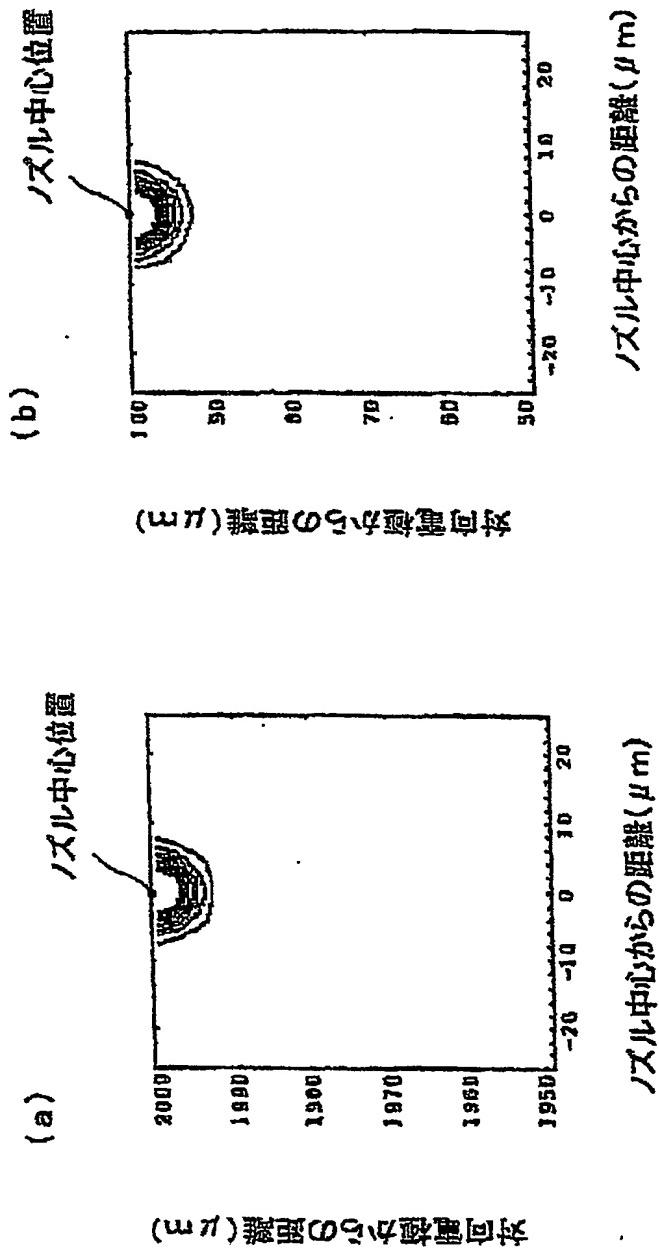
ノズル中心からの距離(μm)

(e) 対向電極からの距離(μm)

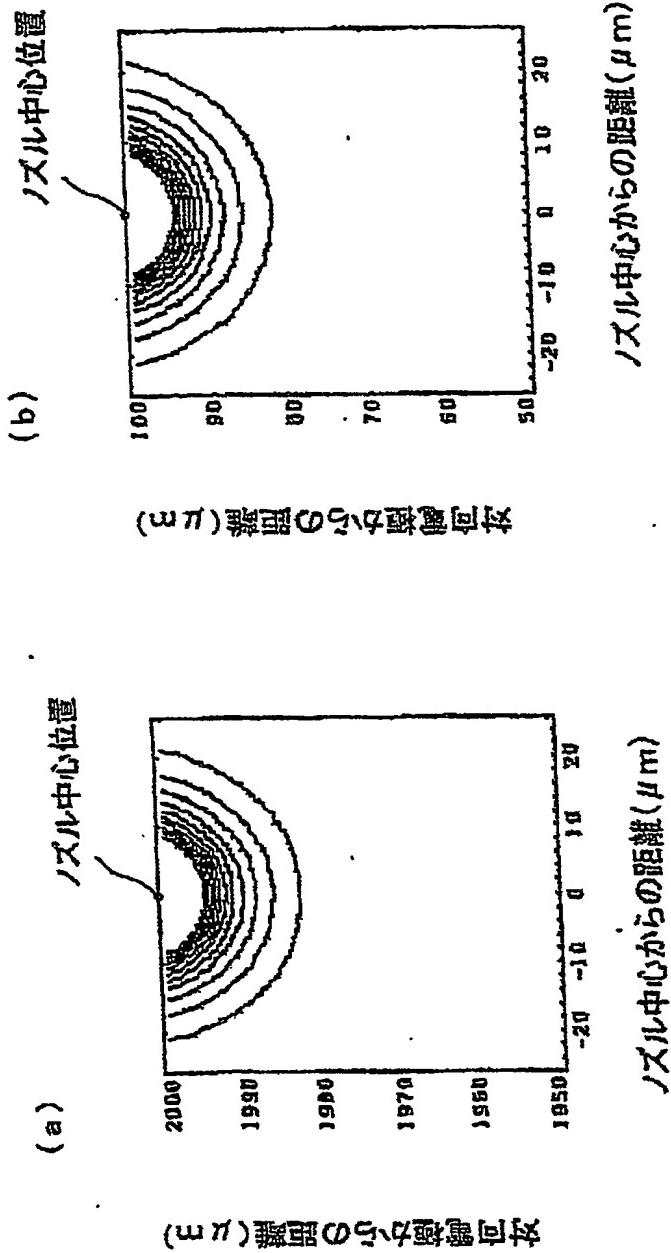
【図2】



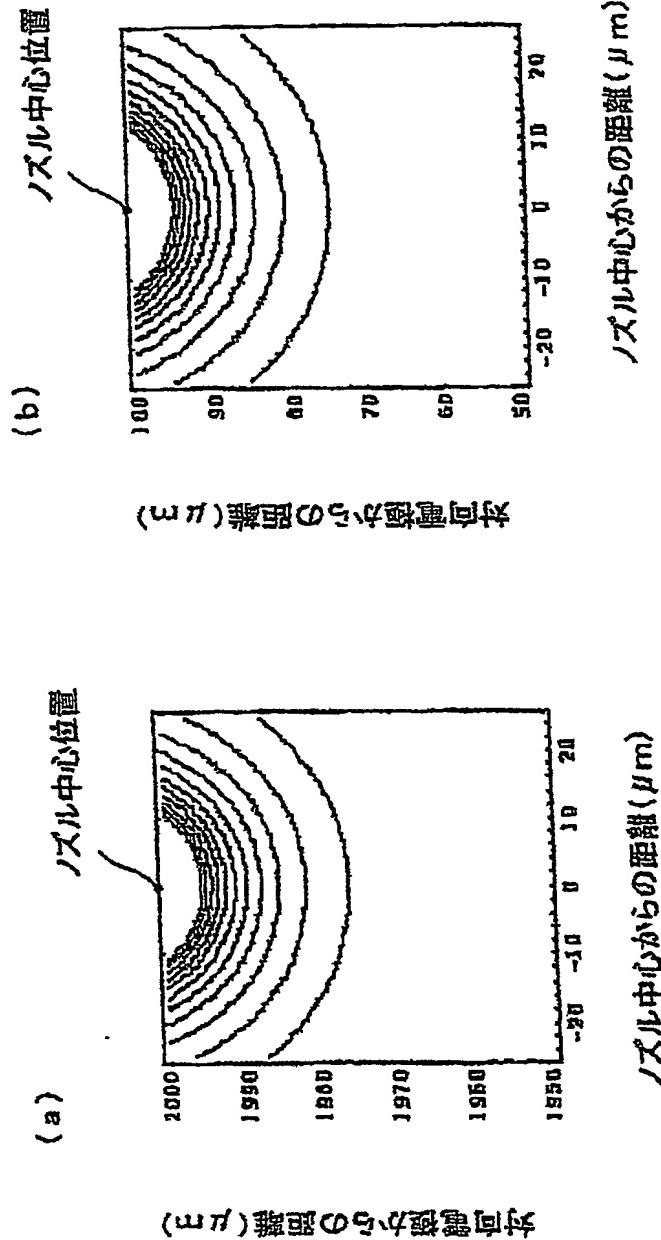
【図 3】



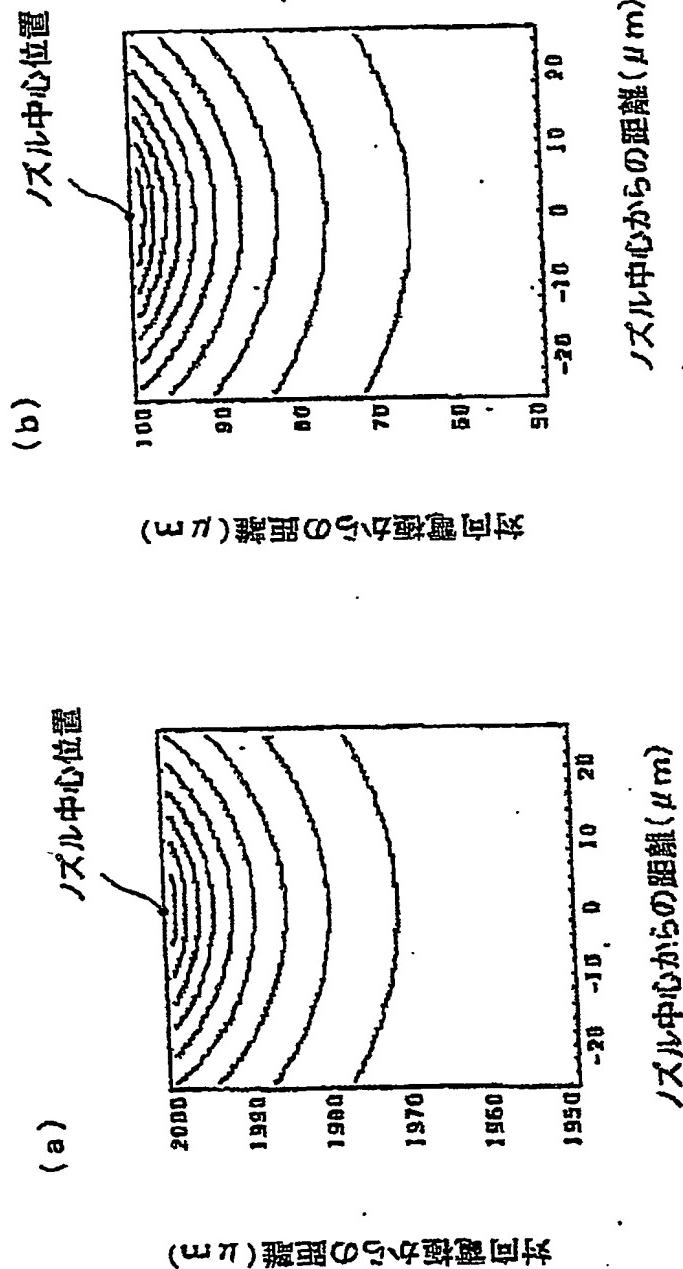
【図4】



【図 5】



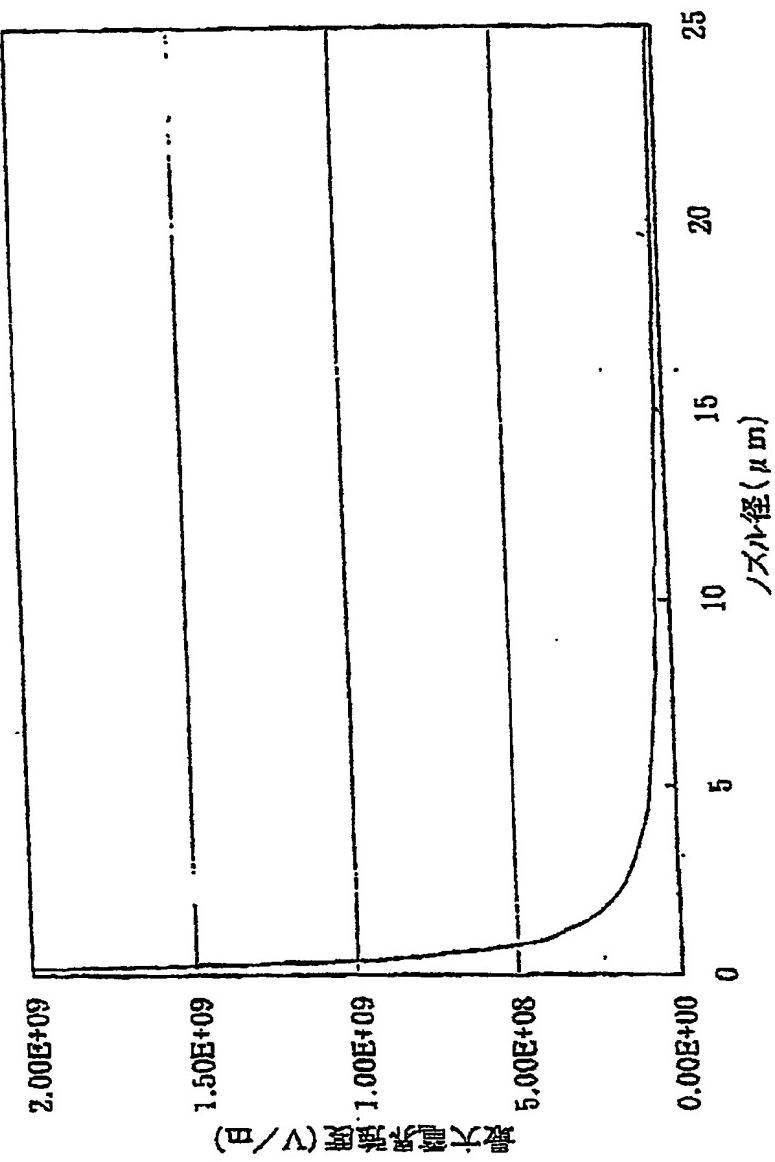
【図 6】



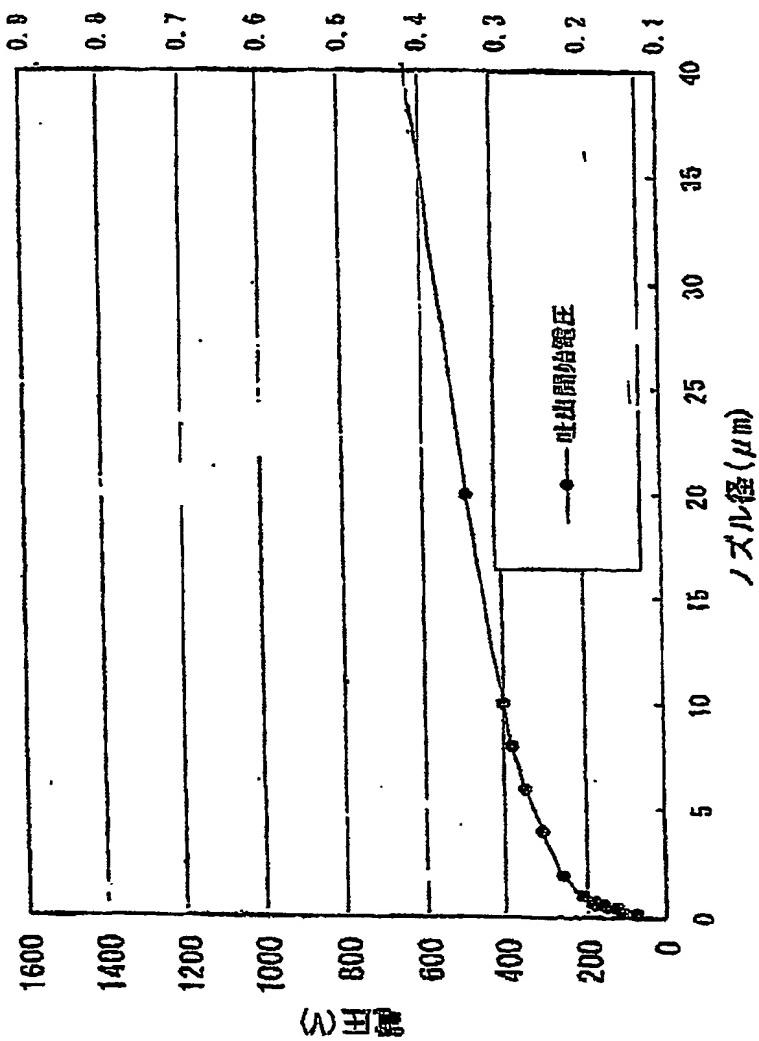
【図7】

ノズル径 (μm)	最大電界強度 (V/m)		変動率 (%)
	ギャップ 100 (μm)	ギャップ 2000 (μm)	
0.2	2.001×10^9	2.00005×10^9	0.05
0.4	1.001×10^9	1.00005×10^9	0.09
1	0.401002×10^9	0.40005×10^9	0.24
8	0.0510196×10^9	0.05005×10^9	1.94
20	0.0210476×10^9	0.0200501×10^9	4.98
50	0.00911111×10^9	0.00805×10^9	13.18

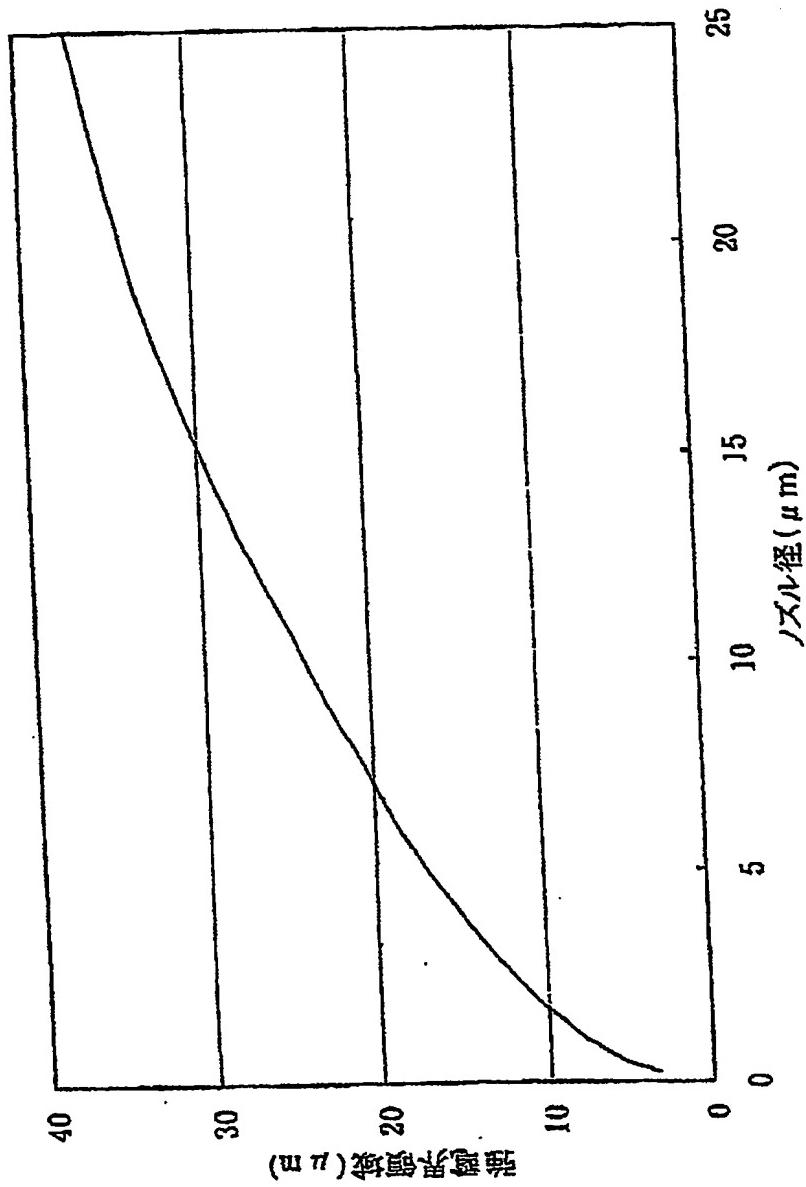
【図8】



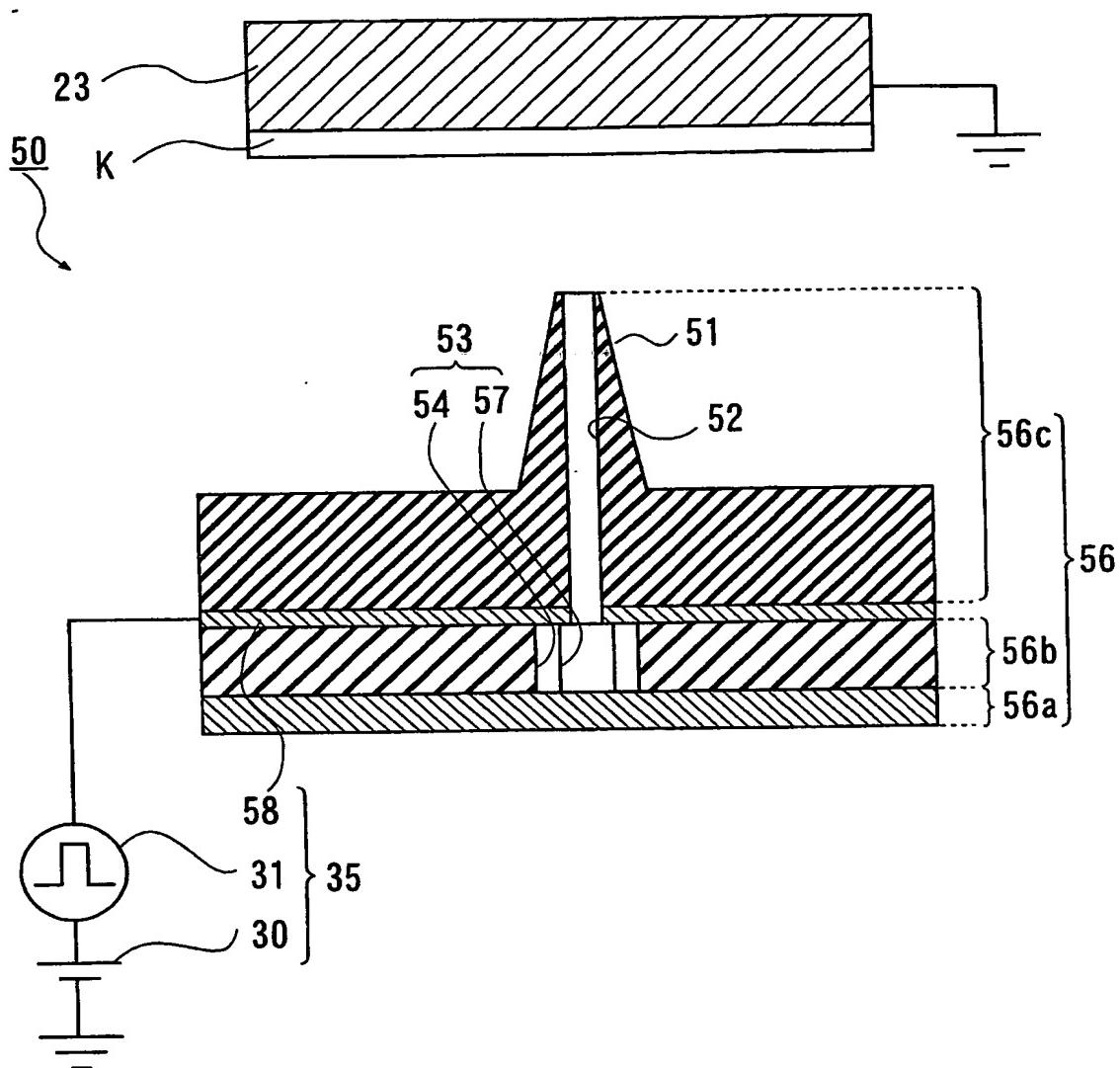
【図9】



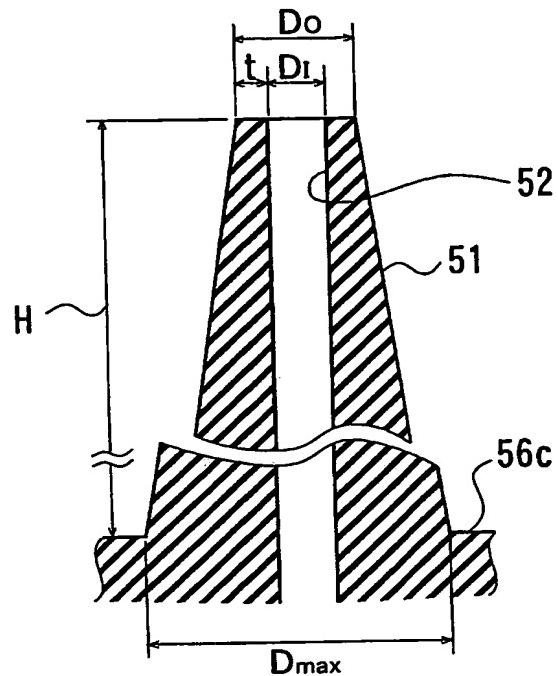
【図10】



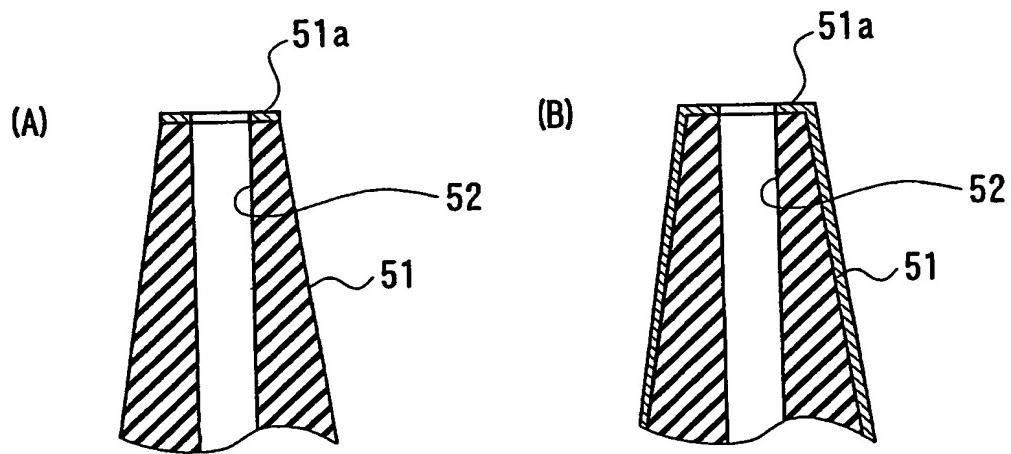
【図 11】



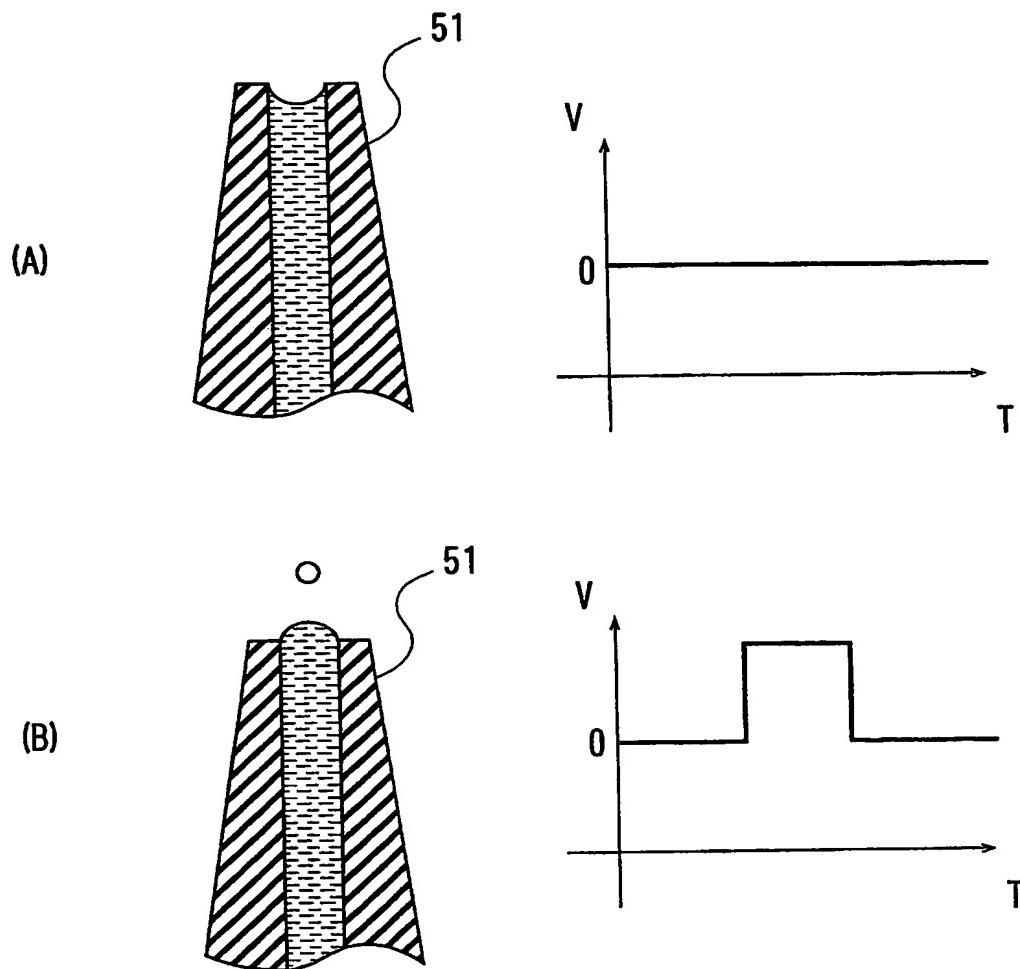
【図12】



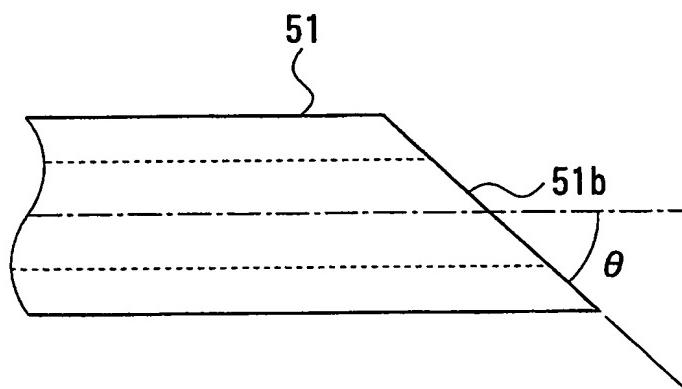
【図13】



【図14】



【図15】



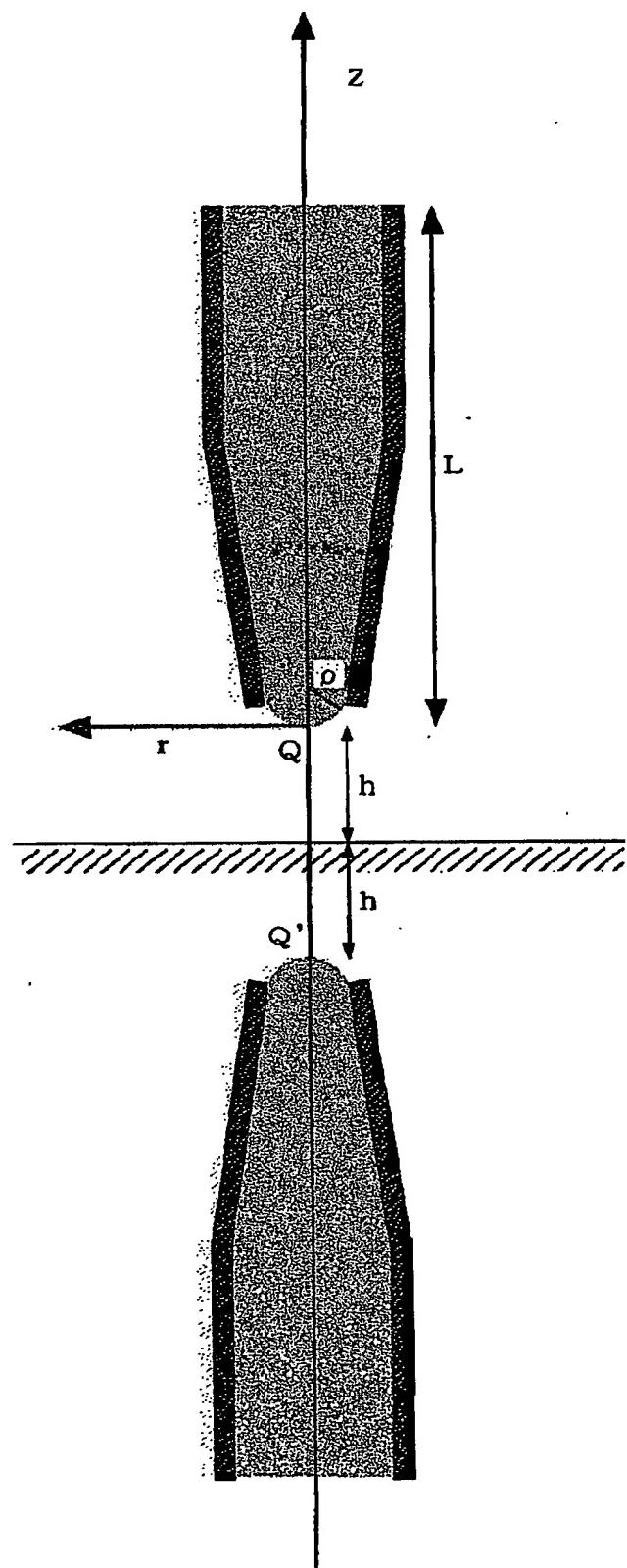
【図16】

No.	D _I (μm)	D _O (μm)	D _{max} (μm)	H (μm)	均一性
1	1	2	5	1	1
2	1	2	5	9	2
3	1	2	5	10	3
4	1	2	5	49	3
5	1	2	5	50	4
6	1	2	5	51	4
7	1	2	5	99	4
8	1	2	5	100	5

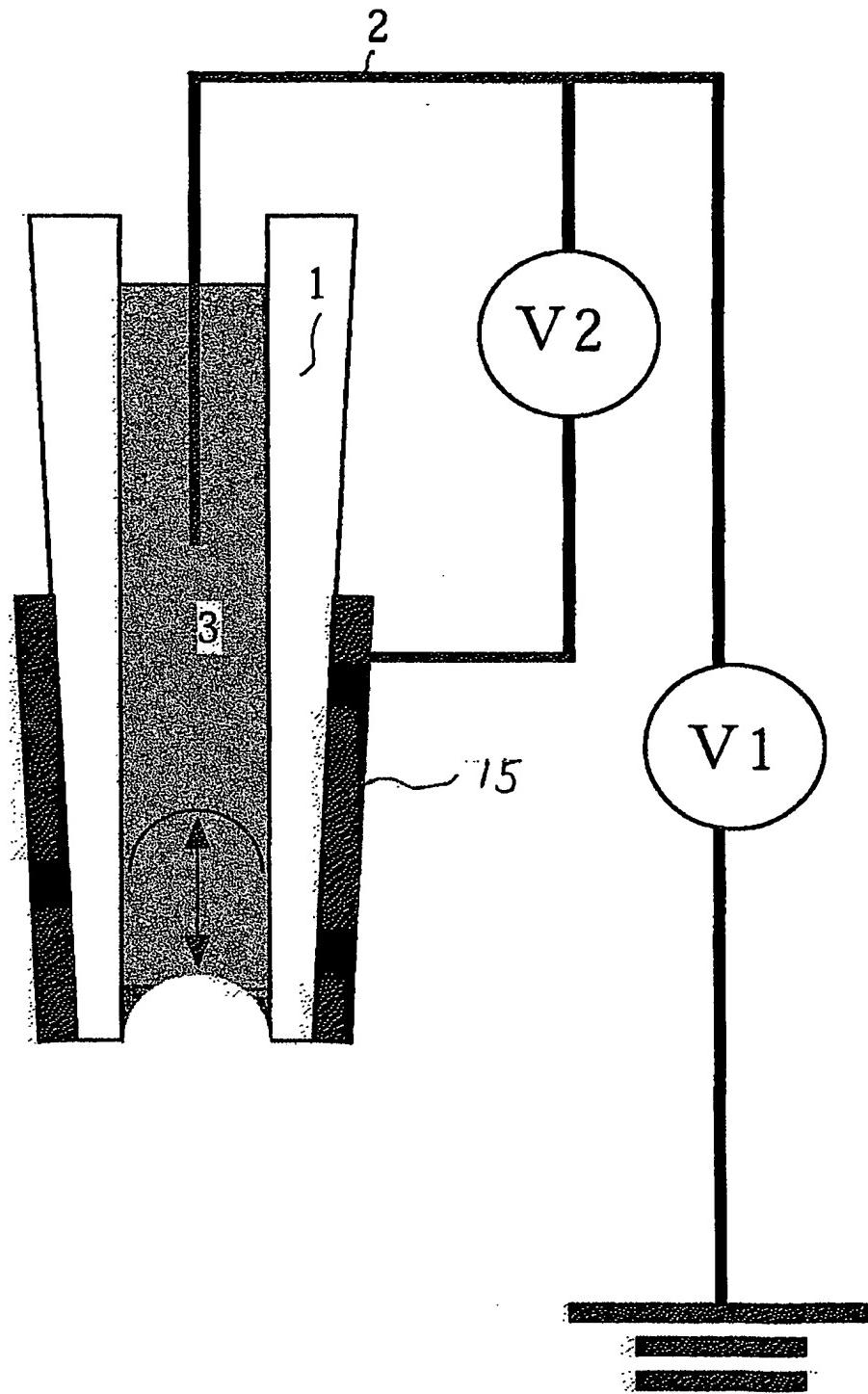
【図17】

No.	D _I (μm)	t (μm)	撥水処理	ノズル先端 形状角度 (°)	応答性
1	1	2	なし	90	1
2	1	1	なし	90	3
3	1	0.2	なし	90	3.5
4	1	1	①	90	3.5
5	1	0.2	②	90	4.0
6	1	2	②	90	2
7	1	1	②	40	4.0
8	1	0.2	②	40	5.0
9	1	0.2	②	20	3.0

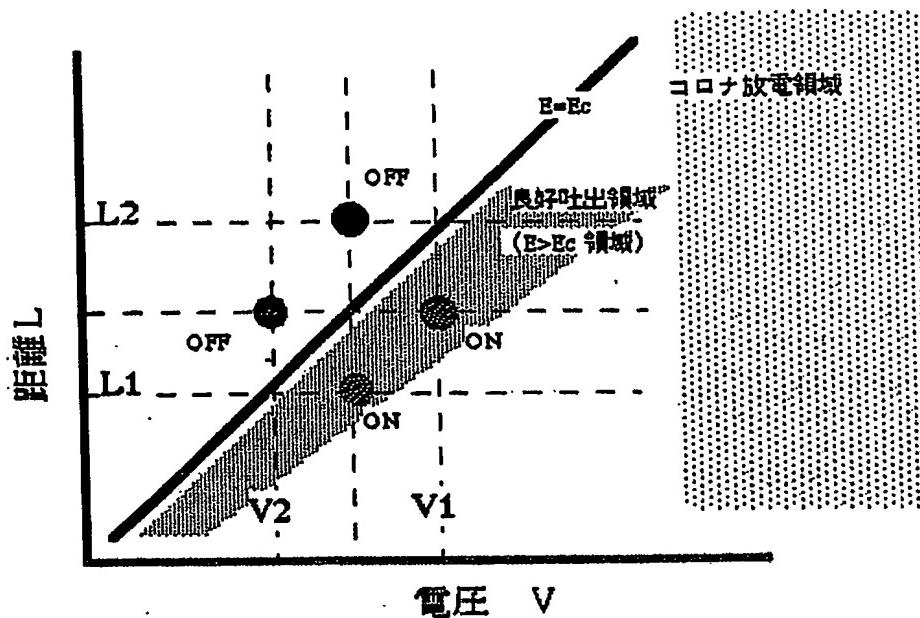
【図18】



【図19】



【図 20】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 本発明は、微小液滴の吐出の応答性の向上を課題とする。

【解決手段】 帯電した溶液の液滴を吐出する液体吐出装置50であって、液滴の吐出を受ける受け面を有する基材にその先端部を対向させて配置されると共に当該先端部から液滴を吐出する超微細径のノズル51と、このノズル内に溶液を供給する溶液供給手段53と、ノズル内の溶液に吐出電圧を印加する吐出電圧印加手段35とを備え、吐出電圧印加手段の吐出電極58をノズルの後端部側に設け、ノズルの内部流路長を内部直径の少なくとも10倍以上に設定する、という構成を採っている。

【選択図】 図1

特願2002-278232

出願人履歴情報

識別番号 [000001270]

1. 変更年月日 1990年 8月14日
[変更理由] 新規登録
住 所 東京都新宿区西新宿1丁目26番2号
氏 名 コニカ株式会社
2. 変更年月日 2003年 8月 4日
[変更理由] 名称変更
住 所 東京都新宿区西新宿1丁目26番2号
氏 名 コニカミノルタホールディングス株式会社
3. 変更年月日 2003年 8月21日
[変更理由] 住所変更
住 所 東京都千代田区丸の内一丁目6番1号
氏 名 コニカミノルタホールディングス株式会社

特願2002-278232

出願人履歴情報

識別番号 [000005049]

1. 変更年月日 1990年 8月29日

[変更理由] 新規登録

住所 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号
氏名 シャープ株式会社

特願 2002-278232

出願人履歴情報

識別番号

[301021533]

1. 変更年月日

[変更理由]

住 所

氏 名

2001年 4月 2日

新規登録

東京都千代田区霞が関 1-3-1

独立行政法人産業技術総合研究所